

DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

28, boulevard Raspail, Paris-VII^e

SOMMAIRE

SERVICE

- | | |
|--|-----|
| 87. Général G. FROMENT et Docteur V. RAYMOND, Contribution à l'étude des conditions de travail dans l'air comprimé
(Questions générales, n° 7) | A C |
| 88. A. LAZARD, Compte rendu d'essais sur le flambage d'une tige posée sur supports élastiques équidistants
(Essais et Mesures, n° 12) | A |
| 89. Assemblages dans la Construction métallique
(Manuel de la Construction métallique, n° 3) | A C |
| 90. DOCUMENTATION TECHNIQUE, n° 27
(Documentation recueillie en mai 1949) | A C |
| 91. Le nouveau bâtiment de l'O. E. C. E. à la Muette
(Technique générale de la Construction, n° 6) | A C |
| 92. R. L'HERMITE, Matière, Construction et Résistance
(Théories et Méthodes de calcul, n° 5) | A |

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURE
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE
28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS (VII^e)

LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS
12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS
9, AVENUE VICTORIA, PARIS (IV^e)

CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT
100, RUE DU CERCHE-MIDI, PARIS (V^e)

Le Service des Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics est réservé à ses adhérents (conditions d'adhésion sur demande).

Le *Service complet A* comprend les fascicules de toutes les séries des *Annales*.

Le *Service réduit C* comprend les séries de fascicules ayant trait :

- aux questions d'architecture, d'équipement technique (électricité, chauffage et ventilation, froid, acoustique, plomberie), d'aménagement intérieur, de matériaux, de pierres et minéraux, de géologie, de sol et fondations, de maçonnerie, de charpente bois, de couverture et étanchéité, d'hygiène et sécurité, de documentation technique;

- aux questions économiques;

- aux questions générales.

Le *Service « Documentation Technique » D* comporte pour l'année dix fascicules, qui donnent la référence et l'analyse de plus de 3 500 articles de documentation français et étrangers et contiennent, en outre, des bibliographies d'ouvrages, une

LES ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS ont publié, en 1948, 56 fascicules comportant au total 1 400 pages in-4° carré illustrées de 1 160 figures. En 1949, elles publieront un ensemble équivalent, comprenant notamment les conférences de la session, des études techniques inédites, visites de chantiers, fascicules de documentation, etc...

sélection des brevets intéressant la construction et renseignent sur l'évolution de la normalisation. La reproduction des documents signalés peut être fournie par le service de documentation de l'Institut Technique, ainsi que toute traduction et bibliographie sur un sujet déterminé.

La répartition de séries est la suivante :

ARCHITECTURE ET URBANISME. — TECHNIQUE GÉNÉRALE DE LA CONSTRUCTION. — THÉORIES ET MÉTHODES DE CALCUL. — ESSAIS ET MESURES.

SOLS ET FONDATIONS. — GROS ŒUVRE. — CONSTRUCTION MÉTALLIQUE. — TRAVAUX PUBLICS.

MATÉRIAUX. — LIANTS HYDRAULIQUES. — BÉTON. BÉTON ARMÉ. — BÉTON PRÉCONTRAINT.

ÉQUIPEMENT TECHNIQUE. — AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR. — MATÉRIEL DE CHANTIER. — QUESTIONS GÉNÉRALES. — DOCUMENTATION TECHNIQUE.

MANUEL DU BÉTON ARMÉ. — MANUEL DE LA CHARPENTE EN BOIS. — MANUEL DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE.

VIENT DE PARAÎTRE

TOITURES-TERRASSES — PROCÉDÉS MULTICOUCHES

En décembre 1944, paraissait un document connu sous le nom de « Cahier vert », et traitant de la constitution-type des principaux procédés d'étanchéité pour toitures-terrasses. Ce document constituait les premières règles de l'art applicables à ces travaux.

L'avant-propos de ce Cahier annonçait une édition ultérieure concernant l'organisation des éléments constituant le plancher-terrasse, ainsi que les travaux de préparation et de protection, ces derniers faisant déjà l'objet de brefs commentaires en annexe du document.

Ce travail servit de base à la norme AFNOR P 84-201 homologuée en même temps que celles relatives aux principaux matériaux d'étanchéité.

Enfin, en décembre 1946, l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux publics* faisait paraître les « Conditions d'exécution du gros œuvre des toitures-terrasses en béton armé », document complétant les règles générales relatives au ciment armé.

A la fin de l'année 1948, l'*Institut National Technique de l'Étanchéité*, créé sur l'initiative de techniciens, avec le concours des organismes professionnels intéressés, décidait de traiter en un seul document l'ensemble de la question de l'étanchéité des terrasses, avec emploi des procédés multicouches.

Cet ouvrage, d'une présentation particulièrement soignée, vient de paraître sous le titre : « Toitures-terrasses. Procédés multicouches. »

Son avant-propos relate brièvement les buts que se propose l'*Institut National Technique de l'Étanchéité*, constate que la toiture-terrasse est la règle dans de grands pays aux climats variés et sévères, comme les États-Unis, apportant la preuve que l'on peut faire ici comme ailleurs des terrasses parfaitement et durablement étanches.

Après examen approfondi et confrontation entre les méthodes

françaises et étrangères, la valeur des nouvelles règles françaises fut reconnue, sous réserve d'emploi de matériaux de qualité convenable.

Aussi, ce document, que l'on appellera sans doute le « Cahier noir », traite successivement :

- DU PLANCHER-SUPPORT (béton armé, bois, travure métallique), y compris dispositions relatives à l'évacuation des eaux et à l'organisation des reliefs;

- LES PRODUITS DE BASE ET LES MATÉRIAUX D'ÉTANCHÉITÉ;

- LES REVÊTEMENTS-TYPES;

- LES RELIEFS ET RACCORDS D'ÉTANCHÉITÉ;

- LES PROTECTIONS.

L'ouvrage se termine par les éléments d'un cahier des charges et d'un devis descriptif appliqués aux travaux d'étanchéité.

Il ne fait pas double emploi avec les documents précédents; en particulier, pour la partie « préparation et protection du gros œuvre » les principes sont repris, les points essentiels sont rappelés, mais l'Ingénieur d'études devra toujours avoir recours au document spécialement consacré à ce sujet pour le détail et les indications chiffrées.

Il présente cependant pour l'Architecte, l'Ingénieur et l'Entrepreneur, l'intérêt primordial de réunir en un tout les différents aspects du problème de la terrasse, depuis le plancher jusqu'au sol de la terrasse terminée.

C'est à ce titre qu'il mérite de trouver place dans la bibliothèque des Architectes et Techniciens du Bâtiment.

Un volume in-4° carré : 36 p., 44 fig. En vente à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 28, boulevard Raspail, Paris-VII^e au prix de fr : 250 l'exemplaire broché (plus fr : 35 pour frais d'expédition s'il y a lieu) contre demande accompagnée d'un chèque barré ou d'un virement au C. C. P. Paris 1834-66.

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII^e

Septembre 1949

N° 87

Nouvelle série.

QUESTIONS GÉNÉRALES, N° 7

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

EXPOSÉ DU 17 MAI 1949

Sous la présidence de **M. J. CAMBON**,
Ingénieur-Conseil, Inspecteur de l'Enseignement Technique.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES CONDITIONS DE TRAVAIL DANS L'AIR COMPRIMÉ

Par le général **G. FROMENT**, du cadre de réserve,
et le docteur **RAYMOND**, Professeur Agrégé du Val-de-Grâce,
Conseillers Techniques de l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics.

SOMMAIRE

PARTIE TECHNIQUE

	Pages.		Pages.
INTRODUCTION.....	5	B. — Scaphandre.....	10
ACCIDENTS TECHNIQUES.....	7	1 ^o Accident paraissant dû à la soupape d'évacuation d'air.....	10
A. — Caisson et bouclier.....	7	2 ^o Accident dû à un éboulement de matériaux.....	11
1 ^o Accident survenu au cours du déplacement d'un caisson mobile.....	8	3 ^o Accidents dus à l'emploi d'explosifs.....	11
2 ^o Accidents dus à des renards.....	9	4 ^o Accidents dus à la rupture ou à l'obturation par serrage, du tuyau d'alimentation en air.....	11
3 ^o Accidents dus à des fausses manœuvres de gaines...	9	5 ^o Accidents divers.....	12

PARTIE MÉDICO-PHYSIOLOGIQUE

A. — TUBISTES.....	13	Scaphandre lourd.....	15
Première période. — Théorie hydraulique.....	13	Scaphandres légers.....	16
Deuxième période. — Théorie pneumatique.....	13	C. — PRÉVENTION DES ACCIDENTS.....	16
Troisième période. — Actuelle.....	14	Tubistes.....	16
B. — SCAPHANDRIERS.....	15	Scaphandriers.....	17
		D. — CONCLUSION.....	17

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

M. le docteur Raymond, professeur agrégé du Val-de-Grâce, et M. le général Froment, du Cadre de Réserve du Génie, tous deux Conseillers Techniques de l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux publics, ont bien voulu me demander de présider la Conférence d'aujourd'hui, où ils vous vont exposer :

La contribution à l'étude des conditions de travail dans l'air comprimé.

M. le général Froment vous l'exposera au point de vue technique.

M. le docteur Raymond, au point de vue médical.

Il est d'usage que le Président de la conférence présente les conférenciers aux auditeurs. Cette mission m'est d'autant plus agréable, du fait que je collabore avec ces messieurs pour la prévention des accidents dans l'air comprimé et que je suis très flatté d'avoir été sollicité par eux.

Mais, est-il besoin que je vous présente M.M. Froment et Raymond ? L'autorité seule de leur nom et de leur savoir vous est garantie de l'importance et de l'intérêt que vont présenter les exposés qu'ils vont vous faire.

Évidemment, le sujet serait un peu aride pour les profanes, mais ne le sera pas pour vous, Messieurs, qui faites partie de l'élite des Travaux publics.

M. le docteur Raymond s'est spécialisé, depuis fort longtemps, dans l'étude et le traitement des maladies résultant du travail dans l'air comprimé.

Quant au général Froment, il a procédé à une étude approfondie de la technique des travaux exécutés par les scaphandriers, surtout actuellement, à cause des renflouements de bateaux détruits par les faits de guerre.

Je n'aurais garde de retarder plus longtemps l'intérêt de cette conférence et je passe, sans plus attendre, la parole, à messieurs les conférenciers.

RÉSUMÉ

Au cours de ces dernières années, on a constaté, sur les chantiers de travaux dans l'air comprimé, c'est-à-dire dans lesquels sont utilisés des caissons, des boucliers ou des scaphandres :

— D'une part, un certain nombre d'accidents, dit techniques, dus à des défauts ou à des imperfections des engins ou appareils utilisés ou à de fausses manœuvres exécutées avec ceux-ci ;

— D'autre part, d'assez nombreux troubles morbides, appelés coups de pression, dont la gravité semble devoir être attribuée à l'insuffisance, voire même à l'absence, de prescriptions efficaces réglementant les conditions de travail dans l'air comprimé.

L'examen, par les services techniques de l'Organisme professionnel de prévention du Bâtiment et des Travaux publics, des circonstances dans lesquelles se sont produits ces accidents ou ces troubles morbides, a permis, compte tenu également de connaissances nouvelles acquises assez récemment au sujet des conditions dans lesquelles s'effectuent la saturation et la désaturation, en azote, du sang et de certains tissus du corps humain, de dégager un certain nombre d'enseignements susceptibles, semble-t-il, d'apporter une contribution intéressante aux études actuellement en cours, au titre de la Commission d'hygiène industrielle du Ministère du travail et de la Sécurité sociale, en vue de refondre la réglementation en vigueur relative aux mesures particulières de protection et de salubrité applicables dans les chantiers de travaux dans l'air comprimé.

Ces enseignements portent, principalement, sur les points suivants :

Accidents techniques. — Dispositifs de sécurité destinés à empêcher les échappements brusques d'air sous les couteaux des caissons et des boucliers ;

— Dispositions diverses concernant les caissons à puits d'extraction ouverts à l'air libre ;

— Amélioration à apporter à la soupape d'évacuation d'air du scaphandre ;

— Remplacement du plomb de poitrine du scaphandre par un appareil de secours d'alimentation en air.

Troubles morbides. — Carte d'identité ou carnet médical pour les ouvriers travaillant dans l'air comprimé ;

— Durée des séances de travail ;

— Durée et exécution de la décompression à l'issue d'un séjour dans l'air comprimé, compte tenu du temps de ce séjour et de la pression du travail ;

— Réalisation de chambres de recompression fixes et mobiles.

EXPOSÉ DU GÉNÉRAL FROMENT

(Partie technique.)

INTRODUCTION

Cette conférence a simplement pour objet d'exposer les enseignements résultant de l'examen d'un certain nombre d'accidents graves survenus, ou de cas de maladie professionnelle, constatés au cours de ces dernières années sur des chantiers de travaux dans l'air comprimé et ayant fait l'objet de la part de l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics, d'enquêtes dont plusieurs ont été effectuées par M. Cambon.

Comme on le sait, par travaux dans l'air comprimé, il faut entendre ceux qui sont exécutés, par des ouvriers, appelés, selon le cas, tubistes ou scaphandriers, au moyen :

- Soit de caissons, fixes ou mobiles, pour les travaux de fonçage vertical, c'est-à-dire pour ceux ayant pour objet l'établissement de fondations;
- Soit de boucliers pour les travaux de fonçage horizontal, c'est-à-dire pour le percement de souterrains;
- Soit de scaphandres lorsqu'il s'agit de faire des reconnaissances sous l'eau, de procéder au renfloue-

ment d'un navire ou de procéder à des opérations dont l'exécution est susceptible, pratiquement, d'être demandée à un plongeur, notamment : guidage des travaux effectués avec des engins manœuvrés en surface, amarrage ou élingage d'objets à remonter et recherches préalables le cas échéant, mise en place de charges d'explosifs, participation à la construction et à l'entretien de batardeaux, en particulier pour ce qui concerne l'aveuglement d'infiltrations.

On rappellera, aussi brièvement que possible, les caractéristiques essentielles des matériels ou engins qui viennent d'être mentionnés.

Caisson à air comprimé (fig. 1).

Un caisson à air comprimé comporte les éléments essentiels suivants :

- Une cuve étanche, renversée, en tôle et en fers profilés ou en béton armé, appelée **chambre de travail**, dont le pourtour inférieur est renforcé, vers l'intérieur, par une ceinture formant **couteau** ou **trousse coupante** et qui constitue la partie par laquelle le caisson repose sur le sol;

SUMMARY

During the last few years it has been shown that, on constructional sites where compressed air is used, i. e. involving the use of caissons, shields or diving suits, there are on the one hand a certain number of accidents which can be called « technical » and are due to defects in appliances or apparatus or to their misuse; and, on the other hand, there are a number of diseases, known as « the bends », which, when serious, must be attributed, it seems to the shortage or even entire absence of efficient regulations governing the conditions of work in compressed air.

The technical service of the Professional Organization for Prevention in building and public works has investigated the circumstances in which accidents and diseases occur and, on the basis of the recent discoveries concerning conditions which cause nitrogen saturation and desaturation of the blood and certain tissues, has sifted some knowledge which will contribute towards the research now being undertaken by the Industrial Hygiene Committee of the Ministry of Labour and Social Security, which

aims at modifying the regulations now in force as regards protective and hygienic measures to be applied on the construction sites where compressed air is used.

The results of this investigation are mainly these :

- 1) For « technical » accidents — provision against the sudden escape of air from beneath the edge of caissons and shields; various arrangements regarding caissons with exhausting shafts exposed to the open air; improvement of the air valves of diving suits; replacing the lead across the chests of diving suits by a safety apparatus with air feed.
- 2) For diseases — identity card or medical certificate for men working in compressed air; length of working shift; decompression of a given length of time after a shift worked in compressed air, based on the length of the shift and the air pressure; construction of both fixed and mobile rooms for recompression.

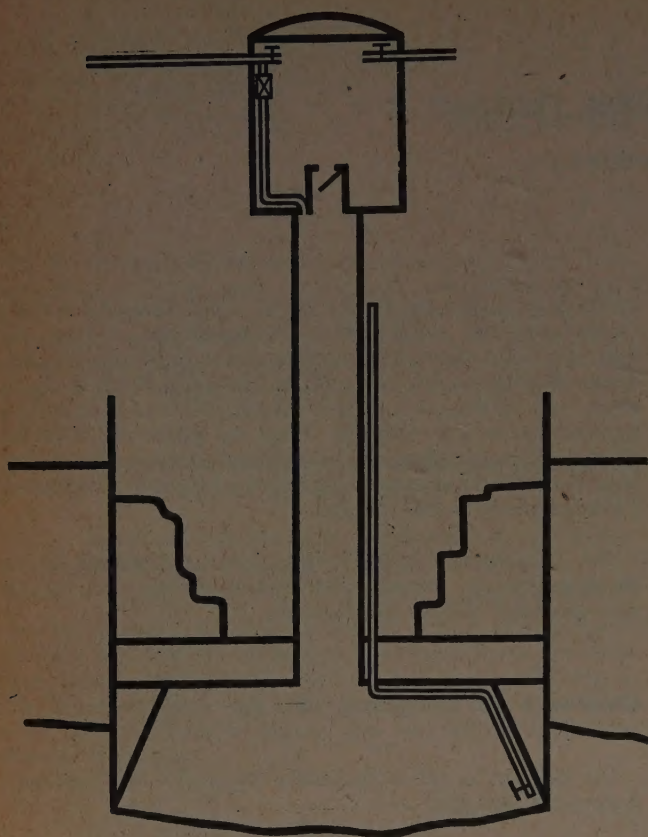


Fig. 1.

— Une **cheminée** permettant de descendre dans la chambre de travail ou d'en remonter;

— Un **sas ou écluse à air**, destiné à réaliser progressivement la compression du personnel à son entrée dans le caisson ou sa décompression à la sortie.

On distingue deux grandes catégories de caissons, savoir :

— Les caissons, dits **fixes** ou **perdus**, c'est-à-dire qui sont incorporés dans le massif de fondations qu'ils ont servi à établir;

— Les caissons dits **mobiles** qui sont remontés et enlevés après l'achèvement des travaux pour l'exécution desquels ils ont été utilisés.

Les manœuvres de descente ou de remontée des caissons mobiles peuvent être effectuées au moyen soit d'**engins de levage** flottants, appropriés, auxquels ils sont suspendus, au moyen de chaînes et de vérins, soit d'un dispositif de **water-ballast** dont les caissons sont alors équipés; les caissons de ce dernier système sont dits caissons **équilibrés** ou **auto-flotteurs**.

La descente du caisson à l'intérieur du terrain se fait par fonçage, c'est-à-dire qu'au cours de l'enlèvement des déblais à l'intérieur de la chambre de travail, le caisson descend sous l'action de son propre poids ainsi que sous celle de surcharges constituées :

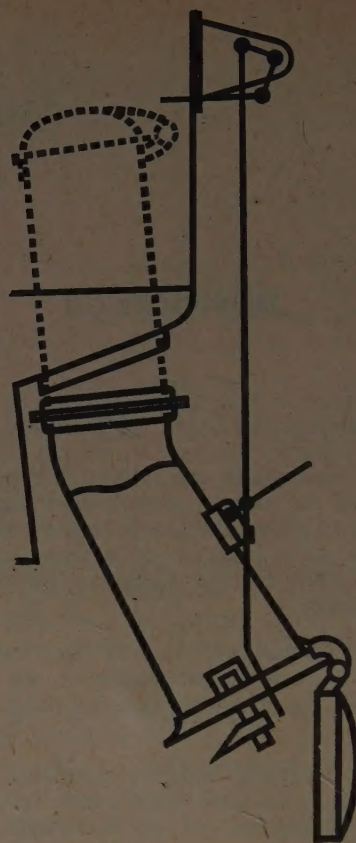


Fig. 2.

— Pour les caissons fixes, par des maçonneries élevées à l'air libre, au-dessus de la chambre de travail, à l'abri d'une enceinte en tôle ou en béton armé, formant **atardeau**;

— Pour les caissons mobiles, d'abord par l'eau des **water-ballast** et, ensuite, s'il y a lieu, par du lest facile à enlever, de vieux rails par exemple.

L'évacuation des déblais se fait, habituellement, au moyen d'une benne d'extraction qui se déplace à l'intérieur de la cheminée et qui, une fois qu'elle a été remontée pleine dans le sas, est déversée dans l'une des deux **gaines** ou **éclusettes à déblais**, disposées symétriquement à la partie inférieure de ce sas. Chacune de ces gaines est fermée à ses deux extrémités par un **obturateur** ou **clapet** à fermeture hermétique (fig. 2); les deux clapets d'une même gaine sont enclenchés au moyen d'un système de sécurité qui ne permet l'ouverture du clapet intérieur que lorsque le clapet extérieur est verrouillé; réciproquement, le clapet extérieur ne peut être ouvert que quand le clapet intérieur a été fermé. Sur chaque gaine est placé un robinet destiné à permettre de mettre celle-ci en communication avec le sas.

Il convient d'ajouter qu'au cours de ces dernières années, on a recommencé, sur certains chantiers, à

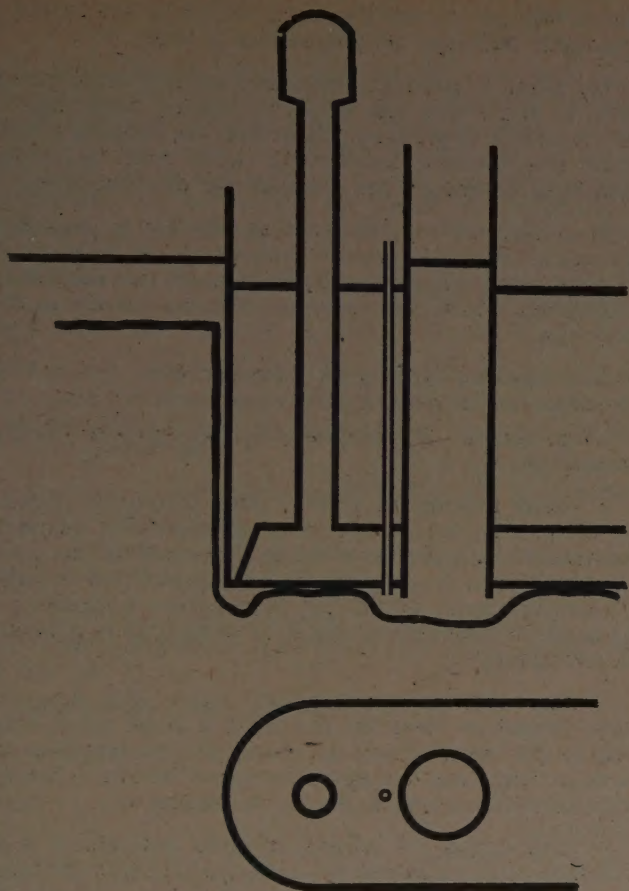


Fig. 3.

employer un système d'évacuation, utilisé autrefois et qui comporte (fig. 3) un ou plusieurs puits de grande section, circulaire ou ellipsoïdale, ouverts à l'air libre, à l'intérieur desquels fonctionnent, à niveau plein, c'est-à-dire dans l'eau, des engins excavateurs appropriés (dragues à mâchoires ou à godets, norias, pompes à sables ou à vase).

Au fond du puits se produit une excavation, en forme de cratère, dans laquelle les tubistes travaillant dans la chambre déposent ou poussent les déblais extraits des abords du puits.

Quant à ce qui concerne l'introduction du béton, on se bornera à mentionner qu'elle se fait soit par des dispositifs permettant de réaliser l'éclusage direct des bennes, soit, plus généralement, au moyen de gaines spéciales accolées à la cheminée.

Bouclier à air comprimé.

Le bouclier est une carapace cylindrique, en acier (tôles et profilés), disposée horizontalement, constituant une chambre de travail à l'abri de laquelle les tubistes procèdent au percement du souterrain et à la mise en place du cuvelage de celui-ci.

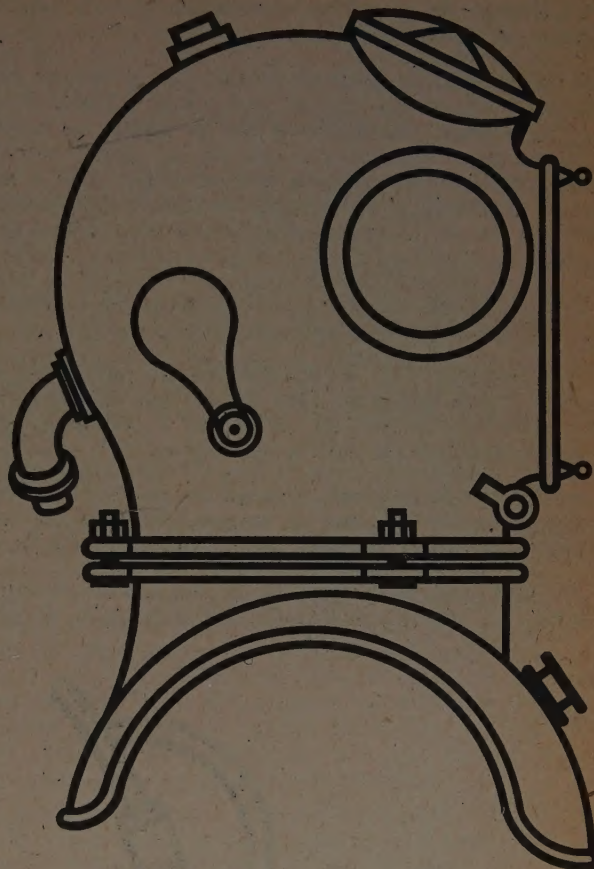


Fig. 4.

Le sas ou écluse à air est aménagé soit dans le bouclier, soit dans le souterrain lui-même à l'origine de celui-ci.

Le bouclier est poussé en avant à l'aide de vérins hydrauliques répartis horizontalement sur une pièce verticale annulaire faisant corps avec le bouclier et disposée à l'intérieur de celui-ci. Ces vérins prennent appui, à l'origine du travail, sur un dispositif de butée approprié, puis, ultérieurement, sur la tranche avant du cuvelage mis en place.

Scaphandre.

On ne s'occupera, bien entendu, que du scaphandre utilisé dans les travaux publics, c'est-à-dire du scaphandre classique, appelé **lourd** ou à **casque rigide** et à **vêtement souple**.

Ce type de scaphandre est constitué, essentiellement, par un casque en cuivre étamé (fig. 4) et par un vêtement imperméable d'une seule pièce ne laissant libres que les mains; la partie supérieure de ce vêtement est réunie au casque par l'intermédiaire d'une pièce métallique en forme de pèlerine, appelée **mantelet** ou **épaulière**.

Le casque est percé de quatre fenêtres ou hublots munies de glaces circulaires.

Dans l'enveloppe étanche formée par le casque et le vêtement, on refoule de l'air comprimé, à l'aide d'une pompe foulante, par un tuyau fixé au casque au moyen d'un ajustage disposé au bas de la partie arrière du casque et qui contient une soupape dite à non retour, c'est-à-dire se fermant de dedans en dehors pour le cas où le tuyau d'adduction d'air viendrait à se rompre.

On pompe de manière que la pression à l'intérieur du vêtement équilibre celle de l'eau.

Une soupape (fig. 5), placée sur un des côtés du casque, laisse échapper l'air expiré par le plongeur, ainsi que celui fourni en excès par la pompe; cette soupape se ferme de dehors en dedans.

Autour de la tubulure formant le siège de la dite soupape, extérieurement au casque, est vissé un couvercle percé de trous pour l'échappement de l'air.

Une tige traverse le clapet de la soupape et fait saillie, à la fois, à l'intérieur et à l'extérieur du casque. A l'inté-

rieur, elle se termine par un bouton plat sur lequel le plongeur peut agir en y appuyant la tête.

Un ressort, prenant appui sur le couvercle, maintient le clapet sur son siège. En vissant davantage ou en dévissant, légèrement, le couvercle, on peut régler, dans une certaine mesure, le débit d'air. Un butoir empêche le desserrage complet du dit couvercle.

Si le plongeur appuie avec sa tête sur le bouton, il provoque une plus grande ouverture de la soupape. D'autre part, s'il presse avec sa main sur l'extrémité extérieure de la tige, il réduit l'ouverture de la dite soupape.

Des résultats analogues peuvent être obtenus en dévissant ou en serrant davantage le couvercle.

L'équipement du scaphandrier comprend encore, notamment :

— Deux masses de plomb, dites plaque de poitrine et plaque de dos, suspendues au mantelet, respectivement, sur la poitrine et sur le dos, ainsi qu'une paire de chaussures à semelles de plomb, servant à lester l'ensemble pour équilibrer la pression exercée par l'eau sur le vêtement gonflé d'air et assurer la descente du plongeur;

— Une ceinture en cuir fort, munie d'un fourreau dans lequel se visse un poignard à large lame, tranchante des deux côtés pour permettre au plongeur de couper sous l'eau tout ce qui pourrait lui faire obstacle ou l'immobiliser (cordages par exemple);

— Une corde de sûreté attachée solidement à la ceinture, ainsi qu'autour du corps du plongeur de façon que, si cette ceinture vient à se détacher, l'homme ne cesse pas d'être maintenu par la corde. Celle-ci passe dans un anneau de cuivre porté par un piton, placé à la partie inférieure droite du casque; elle se trouve ainsi toujours à la portée de la main droite du plongeur. La corde de sûreté relie le plongeur au surveillant ou guide placé en surface et sert à transmettre des communications par signaux conventionnels entre ces deux hommes. Elle sert également à remonter le plongeur. Elle est graduée en mètres, de manière à permettre au guide de connaître la profondeur à laquelle se trouve le scaphandrier;

— Un appareil acoustique permettant l'établissement d'une conversation entre le scaphandrier et le guide. L'utilisation de cet appareil nécessitant pratiquement l'arrêt du fonctionnement de la pompe, l'interruption de l'envoi d'air qui en résulte est assez pénible pour le plongeur, aussi, l'installation du téléphone, installation qui est possible, s'impose-t-elle.

* * *

Le rappel des notions indispensables pour l'intelligence de l'exposé faisant l'objet de la présente conférence est ainsi terminé, mais, avant d'aborder cet exposé, il convient de dire quelques mots sur la réglementation, actuellement en vigueur, pour la protection des travailleurs occupés dans l'air comprimé.

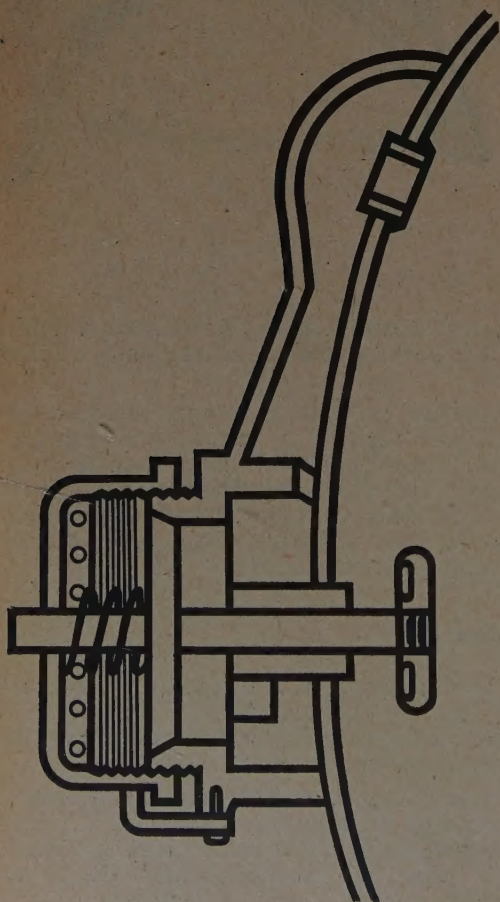


Fig. 5.

Cette réglementation fait l'objet d'un décret du 1^{er} octobre 1913.

A la vérité, ce décret vise surtout les travaux en caisson ou en bouclier. En ce qui concerne le travail en scaphandre, il est difficile de considérer qu'en dehors de quelques prescriptions générales, d'ordre purement physiologique, le décret susvisé lui soit applicable; les conditions de travail en scaphandre diffèrent, en effet, entièrement de celles en caisson ou en bouclier, lesquelles — mises à part les sujétions inhérentes au travail dans l'air comprimé et en local clos — sont comparables aux conditions de travail habituelles des ouvriers des travaux publics.

En fait, il semble être permis de dire que, jusqu'ici, il n'existe pratiquement, pour les scaphandriers, aucune réglementation, au titre du ministère du Travail et de la Sécurité sociale.

Les seuls documents français traitant de la question sont, en effet :

— Le Manuel du scaphandrier, de la marine nationale du 24 décembre 1913;

— Le fascicule provisoire R. G. 563 J, du 3 juin 1948, du règlement général pour prévenir les accidents dans la marine.

Cette lacune doit donc être comblée.

D'autre part, le ministère du Travail et de la Sécurité sociale a été conduit à constater que les prescriptions édictées par le décret du 1^{er} octobre 1913 n'étaient pas suffisantes pour permettre d'assurer convenablement la protection et la salubrité nécessaires sur les chantiers de travaux en caisson ou en bouclier.

En conséquence, M. le Ministre du Travail et de la Sécurité sociale a décidé la constitution — au titre de la Commission d'hygiène industrielle — d'une sous-commission chargée de procéder à la révision du décret considéré.

L'étude dont les résultats sont exposés constitue, en fait, une modeste contribution à la révision ainsi prescrite.

* *

Cette étude se rapporte à des faits qui peuvent être classés en deux groupes, savoir :

— Les accidents que l'on peut qualifier de **techniques**, c'est-à-dire ceux qui sont dus à des défauts ou à des imperfections des engins ou des appareils utilisés ou à des fausses manœuvres exécutées avec ces engins ou appareils;

— Les troubles morbides dits **coups de pression**, qui apparaissent au cours de la décompression des tubistes ou des scaphandriers ou qui surviennent ultérieurement à celle-ci, parfois même avec un très long retard.

La question des troubles morbides, de leur pathologie et de leur thérapeutique sera exposée par M. le professeur Raymond, après celle des accidents techniques. Elle conditionne la durée de la séance de travail sous

une pression donnée, ainsi que le temps nécessaire à la réalisation de la décompression à la fin de la dite séance.

ACCIDENTS TECHNIQUES

A. — Caisson et bouclier.

Une remarque préjudicielle, dont l'importance sera mise en évidence par la suite, doit être faite en ce qui concerne l'évacuation de la quantité d'air comprimé en excédent sur celle qui est nécessaire pour équilibrer la pression de l'eau à l'extérieur, à hauteur de la base de la chambre de travail dans le cas du caisson où, généralement, au niveau du diamètre horizontal du bouclier.

Normalement, cette évacuation se fait sans difficulté, l'air s'échappant en passant sous le couteau de l'engin et l'établissement d'une surpression trop importante étant empêché, en principe, par une soupape de réglage placée sur la canalisation d'amenée de l'air comprimé, mais il arrive parfois, lorsque l'on traverse un terrain compact, que cette opération ne s'effectue pas toujours très régulièrement. On constate, en effet, alors, des échappées d'air brusques et assez importantes, appelées **renards d'air**, qui peuvent, dans les caissons, provoquer une descente brutale de l'engin, et, par suite, des chocs assez violents qui risquent d'entraîner des accidents de personnel ou de matériel.

En outre, comme le montrera l'exposé de M. le professeur Raymond, la décompression brusque résultant de ces échappées d'air peut causer des troubles physiologiques chez les occupants du caisson ou du bouclier.

D'autre part, quand la décompression ainsi produite est importante, le rétablissement de l'équilibre, entre la pression à l'intérieur de la chambre de travail et la pression hydrostatique extérieure peut demander un certain temps, l'apport de la quantité d'air comprimé, nécessaire à cet effet, n'étant pas immédiat. Dans ce cas, il se produit, dans la chambre de travail, une brusque remontée d'eau, susceptible de gêner les travaux et même, comme on l'a déjà constaté, malheureusement trop souvent, de causer la mort d'ouvriers par noyade.

Enfin, il peut arriver aussi que l'échappement brusque de l'air comprimé produise dans les terrains sus-jacents des effets de succion ou d'entraînement des particules, susceptibles de provoquer, dans ces terrains, des tassements ou des modifications à leur état d'équilibre interne.

Pour remédier à ces inconvénients, il convient d'employer un dispositif, appelé **renard artificiel** et qui peut être automatique ou non.

Ce dispositif (fig. 1) est constitué par un simple tuyau descendant dans la chambre de travail et dont l'extrémité supérieure est en communication avec l'atmosphère.

Dans le dispositif non automatique, qui est celui représenté sur la figure, le tuyau s'arrête un peu au-dessus du niveau du couteau et est muni au voisinage

de son extrémité inférieure d'un robinet ou d'une vanne permettant de régler l'évacuation de l'air en excès quand cette évacuation ne se fait pas normalement par dessous le couteau. Un ouvrier est chargé de surveiller, au moyen d'un manomètre placé dans la chambre de travail, les variations de la pression à l'intérieur de celle-ci et de manœuvrer le robinet ou la vanne de manière que la pression considérée ne dépasse pas de plus de 0,200 à 0,300 kg/cm² la pression hydrostatique extérieure.

Dans le dispositif automatique, le tuyau descend dans une petite excavation pratiquée dans le sol de la chambre de travail. Cette excavation, qui doit être maintenue constamment bien dégagée, doit avoir une profondeur suffisante pour que le tube y pénètre sur une longueur telle qu'une garde d'eau de 0,20 m à 0,30 m de hauteur existe au-dessus de l'extrémité inférieure du dit tuyau quand la pression à l'intérieur de la chambre équilibre la pression hydrostatique extérieure. Bien entendu, dans ce cas, le robinet ou la vanne doit normalement être tenu ouvert.

Le dispositif automatique présente, évidemment, l'inconvénient d'être d'un fonctionnement un peu aléatoire, en raison de l'obstruction toujours possible de l'ouverture inférieure du tuyau, par des déblais.

En ce qui concerne le bouclier, rien ne semble s'opposer, en principe, à ce qu'un dispositif de renard artificiel soit réalisé à l'intérieur de la chambre de travail, en particulier, lorsque le sas est aménagé dans le bouclier, cas dans lequel l'établissement d'une canalisation en communication constante avec l'atmosphère ne paraîtrait pas présenter de difficultés, mais jusqu'ici il ne semble pas que cette mesure de sécurité ait été appliquée, la protection contre les noyades en cas des irrutions d'eau étant assurée (fig. 6) grâce à des cloi-

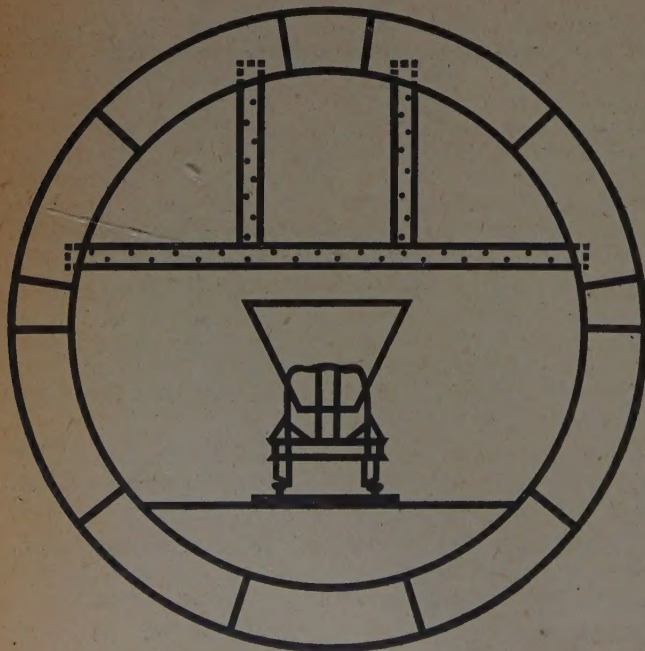


Fig. 6.

sons verticales, parfaitement étanches, régnant seulement à partir d'une certaine hauteur au-dessus du radier et compartimentant ainsi le souterrain en tronçons formant, en quelque sorte, cloches d'air, dans lesquelles le niveau de l'eau s'établit à une hauteur sensiblement inférieure à celle de la poitrine d'un homme.

La nécessité de prendre des mesures pour éviter les renards d'air ou pour en pallier les effets étant ainsi mise en évidence, on passe à la relation succincte d'accidents techniques portés à la connaissance de l'Organisme professionnel de prévention du Bâtiment et des Travaux publics, en ce qui concerne les caissons, aucun accident relatif spécifiquement au travail en bouclier n'ayant été signalé jusqu'ici à cet organisme. Cette constatation peut, semble-t-il, s'expliquer, dans une certaine mesure, du fait, que les chantiers dans lesquels le bouclier est utilisé sont bien moins nombreux que ceux comportant des travaux en caisson.

1^o Accident survenu au cours du déplacement d'un caisson mobile. — Pour permettre la reconstruction d'une des têtes d'une écluse d'un bassin à flot, on devait construire un batardeau constitué par un rideau de palplanches métalliques. Afin de maintenir convenablement la partie inférieure des palplanches dans le tronçon du rideau devant reposer sur le radier, on avait prévu la fixation sur celui-ci de deux cours de moises formant rainure d'encastrement.

Ces moises devaient être fixées au moyen de pièces de fer scellées dans le radier et boulonnées sur les dites moises.

Le percement des trous nécessaires et le scellement des pièces considérées avaient été confiés à une équipe de huit tubistes, travaillant à l'intérieur d'un petit caisson mobile de 3 m × 2,50 m environ de section horizontale et pesant 22 t. Les manœuvres de déplacement du caisson étaient effectuées au moyen d'un ponton-grue et le réglage automatique de la pression était obtenu au moyen de deux dispositifs de renard artificiel.

L'opération avait lieu de nuit, à marée basse; au moment de l'accident, la hauteur d'eau était seulement de 2,70 m.

Vers 2 h 30, le travail étant terminé et le caisson devant ensuite être déplacé latéralement dans le cours de la journée, les ouvriers décidèrent alors d'opérer de suite cette manœuvre depuis l'intérieur du caisson en se servant de crics, le ponton-grue n'étant pas en fonctionnement à cette heure-là. Mais les tubistes n'avaient pas pensé que du fait de la poussée hydrostatique à laquelle le caisson était alors soumis, pression qui était de l'ordre de 17 t, l'effort à produire pour soulever le dit caisson était relativement peu considérable (22 — 17 = 5 t environ).

Au cours de la manœuvre, un renard important se produisit, le caisson fut soulevé, puis retomba et se renversa, les fils d'éclairage se rompirent et les tubistes se trouvèrent dans une obscurité complète.

Quatre hommes, dont le chef de poste, purent s'échapper en plongeant sous la partie soulevée de la chambre

de travail; le chef de poste n'était parti qu'après avoir cherché, en vain, à s'assurer que personne ne restait dans la chambre. Le tubiste qui était chargé du sas fut blessé à la tête mais put sortir de son sas. Le chef d'équipe, après sa remontée, constata l'absence de trois tubistes; les corps de ceux-ci ne purent être retrouvés que quelques heures plus tard du fait que le ponton-grue, dont la chaudière n'était pas sous pression, ne put intervenir qu'au bout d'un certain temps. Deux des corps se trouvaient dans la cheminée du caisson.

Le haubannage du caisson avait été réalisé au moyen de haubans dont les crayons avaient été enfoncés dans le terre-plein du quai, seul emplacement dont on disposait à cet effet; le dispositif de retenue ainsi réalisé n'était donc pas susceptible de jouer son rôle quelle que soit la direction d'un effort de renversement éventuel appliqué à l'engin et il s'est révélé inefficace en la circonstance.

En ce qui concerne les circonstances ayant pu favoriser l'accident, on peut se demander si le dispositif de renard artificiel, situé du côté soulevé, n'a pas contribué à accélérer l'évacuation de l'air contenu dans la chambre de travail, du fait que son orifice inférieur a pu se trouver en communication avec l'atmosphère de la dite chambre.

De cet accident découle, comme enseignement, l'obligation d'interdire formellement tout déplacement de caisson effectué, soit de l'intérieur, soit depuis l'extérieur tout le temps que, dans ce dernier cas, l'appareil n'a pas été évacué complètement par le personnel.

2° Accidents dus à des renards. — Trois accidents dus à des renards ont été signalés dans des caissons du type à puits (fig. 3).

Deux de ces accidents dont chacun a causé la mort, par noyade, de deux tubistes, sont dus à des renards qui se sont produits sous la base du cuvelage d'un puits d'extraction.

La production de ces renards semble pouvoir être expliquée comme il suit.

Tout d'abord, absence d'un dispositif de renard artificiel.

Ensuite, on doit noter que, en cas de surpression à l'intérieur de la chambre de travail, le puits constitue un organe par lequel l'air en excès peut s'échapper assez facilement, lorsque, comme c'était le cas, la base du cuvelage de ce puits se trouve sensiblement au même niveau que le couteau de la chambre (voire un peu au-dessus).

Enfin, il faut remarquer qu'en s'échappant par le puits, l'air tend à entraîner avec lui une partie de l'eau contenue dans ce puits, de sorte que si, comme c'était encore le cas, le cuvelage ne s'élève pas sensiblement au-dessus du niveau normal de l'eau dans le dit puits, une partie de cette eau peut être chassée brusquement hors du puits, ce qui entraîne une diminution momentanée, rapide, de la pression hydrostatique au bas de ce puits.

Des considérations qui précèdent, il résulte — en dehors de la nécessité de doter les caissons de dispo-

sitifs de renard artificiel, quel que soit le type de caisson employé — que, dans les caissons avec puits d'extraction :

— Le cuvelage doit descendre à un niveau un peu inférieur à celui du couteau de la chambre de travail;

— La hauteur de ce cuvelage au-dessus du niveau de la nappe d'eau doit être suffisamment grande pour que de l'eau ne puisse être projetée hors du puits.

En ce qui concerne le dispositif de renard artificiel, il convient d'ajouter qu'une solution, faisant l'objet d'un brevet déposé par la firme allemande Grün et Belfinger, consiste, dans le cas de caissons à puits d'extraction, à percer, à la base du cuvelage et à un niveau déterminé de manière à disposer d'une garde d'eau convenable, des ouvertures par lesquelles l'air peut s'échapper lorsque la surpression dépasse une valeur correspondant à celle que mesure la garde d'eau. Ce dispositif n'est donc pas autre chose qu'un système de renard artificiel automatique.

Le troisième accident qui, heureusement, n'a pas eu de conséquences graves pour le personnel, s'est produit du fait d'un abaissement assez rapide et assez sensible du niveau de l'eau dans un puits d'extraction, par suite de l'ouverture d'une vanne permettant de faire communiquer ce puits avec le batardeau surmontant la chambre de travail; manœuvre destinée à lester le caisson avec de l'eau provenant de la nappe entourant l'engin. L'eau a envahi la chambre de travail, mais un tubiste ayant fermé immédiatement la vanne précitée, l'irruption a été arrêtée assez vite.

Il y a lieu d'ajouter que le caisson ne comportait pas de dispositif de renard artificiel et il convient de remarquer que, même si ce dispositif avait existé, la manœuvre de lestage n'aurait pas dû être faite par prélèvement d'eau dans le puits en raison du déséquilibre de pression qui résulte de ce procédé.

3° Accidents dus à des fausses manœuvres de gaines (fausses gaines, en termes de chantier). Deux accidents de cette nature ont été signalés. Ils sont dus, tous les deux, à une ouverture prématurée du clapet de fermeture extérieur, alors que le clapet intérieur était lui-même ouvert.

Cette fausse manœuvre doit être imputée au fait que la tige de sûreté du dispositif d'enclenchement (fig. 2) ayant été faussée, ce dispositif était hors d'état de fonctionner. La tige considérée se termine, en effet, à la partie inférieure par une sorte de fourche qui, lorsque cette tige est en bas de sa course, empêche de desserrer les écrous à oreilles maintenant le clapet inférieur dans sa position de fermeture. Or, du fait de la déformation qu'avait subie la tige, la fourche ne pouvait plus jouer son rôle.

Le premier de ces accidents a causé d'une part la mort, par noyade, d'un tubiste qui se trouvait dans la chambre de travail et n'avait pas pu en sortir à temps et d'autre part des coups de pression et des lésions chez quatre autres ouvriers.

Le second accident a entraîné la mort du tubiste qui se trouvait dans le sas, près de la gaine et qui a été,

en quelque sorte, happé par l'air qui s'est échappé violemment et projeté dans la gaine.

De ces accidents, il ressort d'une part que le dispositif d'enclenchement doit être suffisamment robuste pour ne pas pouvoir être assez facilement détérioré, d'autre part que le chef de poste doit s'assurer fréquemment du bon état de ce dispositif et, enfin, qu'il serait désirable, pour éviter une interprétation erronée des signaux échangés entre les tubistes chargés du service de la gaine, un à l'intérieur des sas, l'autre à l'air libre, que ces signaux fussent faits au moyen de dispositifs appropriés (lumineux, téléphonés, etc.).

B. — Scaphandre.

1^o Accident paraissant dû à la soupape d'évacuation d'air. — En commençant une plongée à effectuer en vue de reconnaître le travail exécuté par une drague, un scaphandrier était descendu, normalement, jusqu'à une profondeur de 5 m environ; à ce moment-là, il donna le signal de remontée, mais, à peine ce signal fut-il parvenu au guide, que ce dernier constata que la descente venait de s'accélérer brusquement; surpris par la secousse violente donnée par la corde de sûreté, le guide ne put pas arrêter immédiatement la descente et n'y parvint qu'avec l'aide d'un ouvrier qui se trouvait à ses côtés. La remontée fut alors effectuée rapidement et, en fait, la plongée n'avait pas duré plus de 3 mn. A l'arrivée du plongeur à bord du ponton de service, on constata qu'il s'était évanoui et que son vêtement était entièrement dégonflé.

Malgré les soins qui lui furent prodigués, il ne put être ranimé. Sur son corps furent relevées des lésions, notamment une très large ecchymose entre les deux épaules, en partant de la base du crâne.

Ces constatations caractérisent l'accident classique, — appelé « squeeze » (serrage, compression) par les Anglais et « coup de ventouse » en France, — dû soit à un débit insuffisant de la pompe d'alimentation en air, soit au fait que la soupape d'évacuation d'air laisse échapper une trop grande quantité de ce gaz. La pression sur le vêtement dépasse alors sensiblement celle qui règne à l'intérieur de celui-ci qui se plaque sur la poitrine du plongeur, d'où une diminution de la force ascensionnelle de ce dernier. L'appareil a alors tendance à couler et la chute, une fois amorcée, s'accélère automatiquement. Plus cette chute se poursuit et plus s'accroît la différence entre les pressions intérieure et extérieure; cette différence de pression a pour effet de produire sur le corps du plongeur une poussée très forte qui tend à le faire monter dans le casque, élément rigide. D'après le médecin principal de la marine Bugard, la force ainsi mise en jeu peut être suffisante pour déterminer un écrasement de la partie haute du thorax, des fractures de la colonne cervicale ou dorsale et une asphyxie très rapidement mortelle.

De l'enquête effectuée en vue de déterminer les causes de cet accident, il ressort que celui-ci puisse être attribué à un malaise, suivi d'évanouissement, survenu lorsque le plongeur avait atteint la profondeur

de 5 m. Du fait de cet évanouissement, la tête du scaphandrier a dû porter sur le bouton terminant, à l'intérieur du casque, (fig. 5), la contre-tige de la soupape d'évacuation d'air, provoquant ainsi l'ouverture de cette soupape et, par suite, le dégonflement du vêtement.

Cet accident montre la nécessité d'étudier les améliorations à apporter à la dite soupape de manière que lorsque l'on appuie sur le bouton intérieur, elle ne puisse débiter qu'un volume d'air limité et fonctionner de nouveau que sous l'action d'une nouvelle pression effectuée après que le précédent a cessé.

L'Organisme professionnel de prévention du Bâtiment et des Travaux publics a demandé à des fabricants de scaphandres et à des personnes à l'esprit inventif d'étudier ce problème. Cette étude est en cours. Mais, d'ores et déjà, on peut signaler que le Comité régional de prévention du Bâtiment et des Travaux publics de Marseille, en la personne de son secrétaire général, M. Loustau, a présenté la solution suivante (fig. 7).

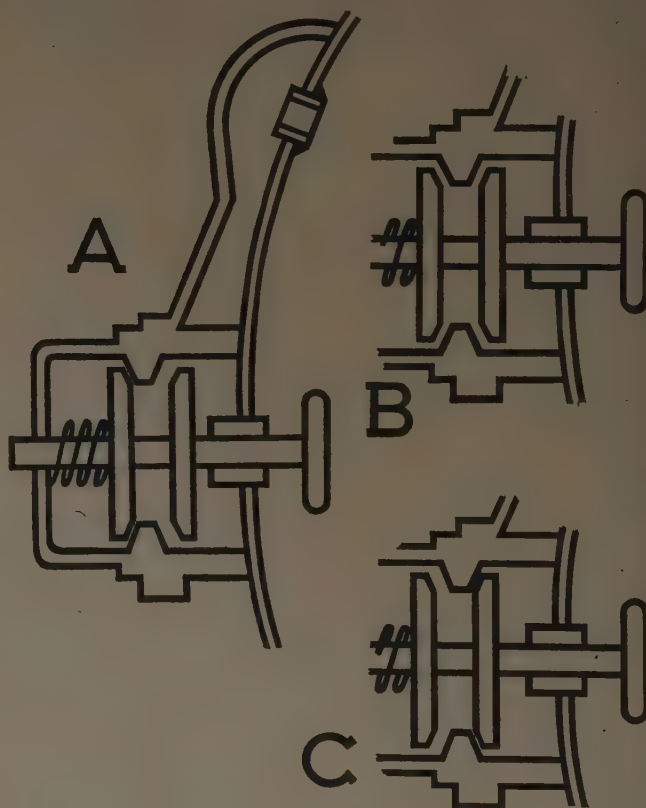


Fig. 7.

La soupape actuelle est modifiée de manière à comporter une contre-soupape qui, lorsque l'on appuie à fond sur le bouton de la contre-tige, vient buter sur un siège ménagé, du côté du casque, dans la pièce où se trouve le siège de la soupape proprement dite.

Le dispositif formé par l'ensemble soupape, contre-soupape, peut donc occuper l'une des trois positions suivantes :

A) La soupape proprement dite s'appuie sur son siège, maintenue par le ressort convenablement réglé pour exercer la pression à équilibrer et la contre-soupape se trouve hors de son siège;

B) Le scaphandrier appuyant sur le bouton de la contre-tige, la soupape et la contre-soupape se trouvent toutes les deux écartées de leurs sièges respectifs et l'air peut donc s'échapper.

C) Le scaphandrier appuyant à fond, la contre-soupape vient s'appuyer sur son siège et l'évacuation de l'air est arrêtée.

La réalisation de ce dispositif est à l'étude.

2° Accident dû à un éboulement de matériaux. —

Un scaphandrier effectuait une reconnaissance, à une profondeur de 8 m environ, à l'effet de se rendre compte des conditions dans lesquelles se présentait le tablier métallique, effondré, d'un pont détruit au cours de la guerre. A la suite d'une crue, les eaux étaient limonneuses et, de ce fait, la visibilité mauvaise. Le tablier avait été rompu en son milieu et sur ses deux tronçons, inclinés, des éléments divers, notamment des bordures, de trottoir se trouvaient en équilibre instable. En se déplaçant dans la coupure du tablier, le plongeur provoqua l'éboulement de quelques-uns de ces éléments et fut atteint à la poitrine par l'un d'eux; le choc causa à la victime un décollement de muscles.

Cet accident montre la nécessité, d'une part, de ne procéder à des reconnaissances sous l'eau que lorsque les conditions de visibilité sont suffisantes et d'autre part, d'opérer avec la plus grande prudence en vue tout d'abord de repérer les éléments instables, afin de pouvoir les enlever avec un engin approprié et d'éviter les chutes.

3° Accidents dus à l'emploi d'explosifs. — Après avoir placé une charge d'explosif sur une épave, un scaphandrier avait regagné l'échelle de remontée sans s'apercevoir qu'il avait entraîné avec lui, par un de ses pieds, le cordeau détonant de mise de feu et, par suite, la charge elle-même. Arrivé en haut de l'échelle, il donna le signal de mise de feu (mise de feu électrique); l'explosion se produisit donc au pied de l'échelle, brisa celle-ci, provoqua un remous violent et le plongeur tomba à la mer.

De cet accident peuvent être dégagés les enseignements suivants :

a) Les charges doivent être fixées solidement et le plongeur doit s'assurer qu'il n'emmène pas avec lui le conducteur de mise de feu;

b) Le feu ne doit être mis que lorsque tout le personnel employé à l'opération est à l'abri de tout risque susceptible de résulter de l'explosion.

Au demeurant, l'examen des risques à envisager doit être fait d'une façon très approfondie.

Parmi ces risques peut figurer celui dû à la présence, dans les épaves, d'explosifs ou de matières pouvant

donner lieu à une explosion quand certaines conditions sont remplies. La méconnaissance d'un risque de cette nature a causé, il y a quelque temps, un accident mortel : l'explosion de la charge placée, par un scaphandrier, sur la coque d'un contre-torpilleur, ayant entraîné celle de munitions se trouvant dans la soute de l'épave, les lames soulevées par cette dernière explosion ont balayé l'embarcation que venait de regagner le plongeur; ce dernier a été noyé; les autres personnes qui se trouvaient dans cette embarcation ont toutes été projetées dans la mer, mais ont pu se sauver ou être sauvées.

Aux mesures de sécurité qui viennent d'être énumérées, on doit, bien entendu, ajouter des consignes réglementant la manipulation et la mise en œuvre des explosifs, consignes qui doivent comprendre, notamment, l'interdiction absolue de faire manipuler, par les plongeurs, des charges amorcées autrement que par cordeau détonant, sans interposition d'un détonateur entre celui-ci et la charge.

L'examen de la teneur de ces consignes sort du cadre de la conférence, aussi on se contentera de signaler que toutes indications utiles au sujet de telles consignes peuvent être trouvées dans la circulaire n° 1781 C. I. R. du 13 mai 1947, de la Commission interministérielle des renflouements.

4° Accidents dus à la rupture ou à l'obturation, par serrage, du tuyau d'alimentation en air.

Les deux accidents relatés ci-après, ont été signalés.

Un scaphandrier était occupé, par 7 m de fond, à fixer les pattes d'accrochage d'un appareil de relevage à water-ballast sur un bloc de béton provenant de la destruction d'un mur de quai; la vidange du water-ballast ayant été effectuée avant que le plongeur ait terminé son travail, l'appareil remonta brusquement en cisailant à la fois la corde-guide et le tuyau d'alimentation en air. La recherche d'un scaphandrier pour porter secours au premier ayant nécessité un temps assez long, lorsque le plongeur accidenté put être retrouvé et ramené à la surface, il avait cessé de vivre, ayant été asphyxié par manque d'alimentation en air; la soupape à non retour de l'ajutage d'arrivée d'air avait bien fonctionné et l'eau n'était pas rentrée dans le scaphandre.

Un autre scaphandrier, employé à des travaux de renflouement, a eu sa corde-guide et son tuyau d'alimentation en air pris entre des morceaux de tôle de l'épave; quand on a réussi à le dégager, il avait perdu connaissance et ne put être ranimé.

Des circonstances dans lesquelles se sont produits ces deux accidents découlent les enseignements ci-après :

a) Il importe que dans chaque barque ou station de plongée se trouve un scaphandrier de secours, avec l'équipement nécessaire et qui peut être employé normalement comme assistant;

b) Il est indispensable de doter le scaphandre d'un dispositif de secours permettant d'assurer l'alimentation en air, pendant un temps suffisant pour que les

secours nécessaires puissent être apportés au scaphandrier accidenté;

c) Il convient d'examiner la convenance d'adopter des tuyaux d'alimentation offrant une plus grande résistance au cisaillement et à l'éclatement que les tuyaux employés actuellement. Ces derniers, qui sont essayés, à une pression de 15 atmosphères, se composent de plusieurs toiles caoutchoutées à l'intérieur desquelles se trouve une hélice en fil de fer, garnie en caoutchouc, destinée à empêcher le tube de se couder.

Le dispositif de secours d'alimentation en air, a été réalisé de façon très pratique par la maison allemande Draeger de Lübeck, sous la forme (fig. 8) de petites bouteilles d'air comprimé à haute pression qui remplacent le plomb de poitrine et peuvent être déchargées dans le vêtement par un tuyau aboutissant au casque,

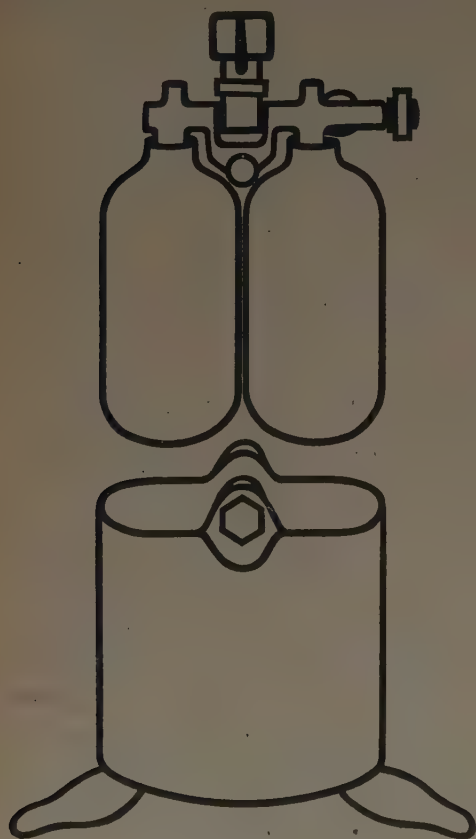


Fig. 8.

par simple manœuvre d'un robinet, effectuée par le plongeur. Rien ne paraît donc s'opposer à ce que ce dispositif ou tout autre équivalent soit rendu réglementaire.

Il y a lieu d'ajouter que l'amélioration considérée présente également l'avantage de permettre au scaphandrier d'enrayer un coup de ventouse en augmentant la flottabilité par le gonflement rapide de son vêtement.

Pour ce qui regarde l'adoption du tuyau d'alimentation renforcé, la question mérite d'être examinée d'une façon approfondie. Il paraîtrait assez séduisant, à priori, de recourir à des tuyaux analogues à ceux employés pour les vérins hydrauliques; ces tuyaux offrent, en effet, une très grande résistance au cisaillement, ainsi qu'à l'éclatement et ne peuvent se couder, tout en restant relativement souples. Mais, il y a lieu de se demander si cette solution ne présenterait pas d'inconvénient dans le cas où un scaphandrier se trouverait immobilisé du fait que son tuyau d'alimentation serait retenu par un obstacle et ne pourrait se dégager ou être dégagé qu'en coupant le dit tuyau. Cette question mérite donc, on le répète, un examen attentif, composant, notamment, l'étude d'un dispositif permettant de séparer facilement le tuyau du casque, mais non susceptible d'être actionné accidentellement.

5° Accidents divers. — À la suite d'accidents divers survenus à des scaphandriers employés à des travaux de renflouement, la Commission interministérielle du renflouement a posé les principes de sécurité résumés ci-après.

— Aucune manœuvre de descente ou d'enlèvement d'objets à l'aide d'engins de levage ou de manutention ne doit être effectuée avant d'avoir fait remonter le ou les scaphandriers et, en tout cas, aucun plongeur ne doit se trouver sous une charge en cours de levage ou de descente;

— Lorsqu'un ou plusieurs scaphandriers sont en plongée dans un chenal étroit, une signalisation spéciale doit prévenir les navigateurs;

— Chaque barque de plonge doit posséder un double équipement; pour tout scaphandrier en plongée il doit être prévu un plongeur de secours qui occupe le poste d'assistant principal (l'adoption de cette mesure a été précédemment);

— En cas d'alimentation en air par groupe moto-compresseur, il faut disposer d'un groupe de secours;

— On doit veiller à ce que la corde-guide ou le tuyautage d'air ne soient pas engagés dans des obstacles; si un tel accident se produit, il faut, soit faire immédiatement dégager la corde ou le tuyau par le plongeur de secours, soit remonter de suite le scaphandrier;

— L'installation du téléphone est indispensable (mesure déjà demandée).

Ces principes sont évidemment applicables également aux chantiers de travaux publics proprement dits.

* * *

Ici se termine la partie de la conférence relative aux accidents dits techniques, ainsi qu'aux enseignements qui en découlent du point de vue de la prévention de ces accidents, enseignements qui, semble-t-il, peuvent être utiles aux membres de la sous-commission chargée, par M. le Ministre du travail et de la sécurité sociale, de procéder à la refonte de la réglementation relative aux mesures particulières de protection et de salubrité applicables dans les chantiers de travaux dans l'air comprimé.

EXPOSÉ DU DOCTEUR RAYMOND

(Partie médico-physiologique.)

A. — TUBISTES

Les tubistes sont sujets, du fait de leur travail à une pression supérieure à la pression atmosphérique, à un certain nombre d'accidents que l'on englobe sous le nom générique de « coups de pression ».

Pour comprendre le mécanisme de ces coups de pression, les troubles qu'ils entraînent et les mesures préventives nécessaires pour les éviter, le mieux est de suivre la méthode historique. On peut, à ce point de vue considérer trois périodes dans l'utilisation des caissons :

Première période. — Théorie hydraulique.

Les caissons ont commencé à être employés vers 1840. On a constaté alors que les accidents graves et mortels étaient particulièrement fréquents. Dans un tunnel sous l'Hudson, il y a eu douze morts pour une cinquantaine d'ouvriers, soit 25 %. On attribuait ces accidents à la compression des vaisseaux sanguins de la peau qui chassait le sang vers la profondeur, ce qui donnait de la congestion des organes profonds. Cette théorie n'a abouti à aucune mesure prophylactique efficace.

Deuxième période. — Théorie pneumatique.

Celle-ci débute vers 1870, avec les mémorables travaux de Paul Bert. Ils lui ont permis de formuler la théorie pneumatique, actuellement classique et ont conduit à des mesures préventives qui ont, comme nous le verrons, diminué la mortalité dans des proportions considérables.

Cette théorie est basée sur les lois de la dissolution des gaz dans les liquides (lois de Henry et de Dalton).

a) Toutes les fois qu'un gaz est en présence d'un liquide, une certaine quantité de ce gaz se dissout dans le liquide ;

b) Cette quantité est proportionnelle à la pression du gaz.

Nous avons donc, en permanence, à la pression atmosphérique, une certaine quantité de gaz dissous dans le sang. Cette quantité augmente au fur et à mesure que la pression augmente dans le caisson.

Ces gaz sont constitués par les deux grands constituants de l'air, l'oxygène et l'azote.

Mais le comportement de chacun d'eux est différent. Il y a, d'abord cinq fois plus d'azote dissous que d'oxygène. Car, dans un mélange gazeux, chacun des gaz se dissout proportionnellement à sa tension partielle dans le mélange. Cette tension est celle qu'aurait ce gaz s'il occupait seul le volume du dit mélange. La proportion de 1/5 correspond donc approximativement à la composition volumétrique de l'air, 21 d'oxygène pour 79 d'azote.

D'autre part, l'oxygène, dès qu'il pénètre dans le sang, est, pour la plus grande part, fixé sur l'hémoglobine des globules rouges et rapidement utilisé par les tissus.

L'azote au contraire est un gaz inerte, qui se dissout d'abord dans le sang, puis dans tous les tissus du corps. Lui seul joue, de ce fait, un rôle dans les coups de pression.

La saturation de l'organisme en azote paraît complète après un séjour de 4 heures environ à la pression considérée. Elle varie, d'ailleurs, avec :

- 1° Le degré de la pression ;
- 2° La durée du temps d'exposition à la pression ;
- 3° La vascularisation des différents organes ;
- 4° La capacité d'absorption de chacun des tissus.

Si les deux premières conditions sont essentielles, les deux dernières varient suivant les individus.

C'est ainsi que les graisses dissolvent cinq fois plus d'azote que le sang ; un organe riche en graisse dissoudra, par conséquent, beaucoup d'azote.

Dans l'ensemble, Haldane estime que l'organisme dissout environ 1 litre d'azote par atmosphère de pression, ce qui ferait pour un individu de 70 kg, soumis à une pression de 4 atmosphères, à peu près 3 360 cm³ d'azote, un peu plus de 3 litres.

Quand la saturation est complète, 1/26 de la quantité totale d'azote est dissoute dans le sang, les autres 25/26 étant dissous dans les tissus.

La dissolution des gaz dans le sang qui se produit pendant la période de compression n'entraîne habituellement pas d'accidents sérieux. Il en est de même pendant la durée du séjour à la même pression.

Les accidents, par contre, surviennent au moment de la décompression.

Les lois de Henry et de Dalton jouent, en effet, de façon inverse. Dès que la pression baisse, les gaz, et surtout l'azote en dissolution dans le sang et les tissus, repassent à l'état gazeux. Si la décompression est brusque, il se produit une effervescence comparable à celle qui se produit dans un siphon d'eau de Seltz quand on appuie sur le détendeur.

Il en résulte la production dans le sang de bulles de gaz qui constituent ce que l'on appelle des embolies gazeuses et qui sont la cause des principaux accidents. Enumérons rapidement ces derniers :

Compression. — Si elle n'est pas trop rapide, les accidents sont rares et peu importants. Ils consistent surtout en douleurs d'oreille, avec parfois des vertiges et rarement rupture du tympan.

Période de travail. — Les accidents sont exceptionnels aux pressions utilisées dans les travaux publics.

Décompression. — Mais les accidents apparaissent au moment de la décompression et dans les heures qui suivent : « On paye en sortant » disent les tubistes.

Les accidents peuvent être immédiats et survenir dans les instants qui suivent la décompression

Mais ils sont très souvent à retardement et surviennent pendant que l'ouvrier rentre chez lui ou dans la nuit qui suit.

Le dégagement gazeux suivant sa modalité, sa rapidité, sa brutalité et aussi suivant les réactions individuelles de chaque ouvrier produit des malaises variables.

Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

Fourmillements, démangeaisons, sensation de brûlures. Parfois érythème ou même emphysème sous-cutané. Les ouvriers les appellent les « puces ». Ils sont fréquents.

Tendons, muscles, articulations.

Douleurs plus ou moins intenses avec contractions. Les Anglais les appellent « bends », les Français « mou-tons ». Ils sont fréquents.

Appareil respiratoire.

Dyspnée, gêne respiratoire, rarement hémoptysie ou apoplexie pulmonaire.

Appareil circulatoire.

Syncopes rarement mortelles.

Système nerveux.

Ce sont les accidents les plus graves. Les embolies gazeuses dans les vaisseaux du cerveau et de la moelle épinière provoquent facilement des lésions dans ces tissus fragiles. Le plus souvent, il s'agit d'accidents passagers et curables en quelques jours : vertiges, hémiplegie, monoplegie, aphasies.

Mais parfois, il se produit des lésions définitives, en particulier au niveau de la moelle épinière. Il en résulte la **paraplégie des caissons ou des scaphandriers** entraînant une infirmité définitive. Cet accident est devenu rare actuellement.

Organes des sens. Oreilles.

Les accidents du côté des oreilles sont les plus fréquents. Ils peuvent survenir à la compression ou à la décompression par suite du même mécanisme. L'oreille moyenne est constituée par une cavité osseuse pleine d'air que l'on appelle la caisse du tympan. Cette caisse est reliée aux fosses nasales par un conduit, la trompe d'Eustache. Il en résulte que l'air qui est dans la caisse est en équilibre de pression avec l'air extérieur.

Mais si la trompe d'Eustache, qui est un conduit étroit, est bouchée et mal perméable, l'équilibre sera rompu au moment de la compression ou à celui de la décompression, d'où des bourdonnements d'oreilles, de la surdité, des vertiges et même, dans certains cas, un éclatement de la membrane du tympan. C'est pour éviter ces accidents que les ouvriers font des mouvements de déglutition en se bouchant le nez, qui ont pour effet de permettre l'ouverture de la trompe d'Eustache.

Œil.

On observe des troubles de la vision habituellement passagers.

Dans cette deuxième période, sous l'influence des mesures de prévention qui ont été la conséquence des recherches de Paul Bert les accidents ont beaucoup diminué en nombre et en gravité.

J'ai sous les yeux une statistique du Syndicat de garantie du bâtiment concernant les années de 1925 à 1931.

Sur 680 cas, il y a eu :

Douleurs locales	624	91 %	Guérison
Vertiges	44	6,5 %	Guérison
Dyspnée	1	0,6 %	Guérison
Lésions nerveuses.....	11	1,6 %	2 I P P
			9 Guérisons
	680		

De 1929 à 1939, j'ai vu plusieurs centaines de tubistes et ai fait des constatations analogues. Je n'ai vu qu'un seul cas de myélite avec paraplégie définitive.

Troisième période. — Actuelle.

Dans les statistiques de l'époque précédente, il n'était pas signalé de troubles ostéo-articulaires pouvant occasionner des infirmités tardives et durables.

On ne connaissait qu'un cas de nécrose de la tête du fémur qu'on attribuait à une embolie de l'artère irriguant la tête du fémur. Mais, à partir de 1910, on a publié des cas de lésions articulaires de la hanche ou de l'épaule ouvrant ainsi un nouveau chapitre de la pathologie des tubistes, celui des accidents ostéo-articulaires.

Ils présentent les caractères suivants :

1° Ils frappent les articulations de la hanche et de l'épaule ;

2° Chez un même ouvrier, les deux hanches, ou bien hanche et épaule peuvent être atteintes en même temps.

3° Les manifestations articulaires, la limitation des mouvements, sont tardives ; elles surviennent plusieurs mois ou même plusieurs années après un coup de pression.

4° Quelquefois, le coup de pression initial a été assez important et a été constaté. Mais, même dans ces cas, il n'a pas toujours été, au début, constaté de douleurs articulaires ;

5° Souvent il est impossible d'identifier le coup de pression responsable de ces troubles ostéo-articulaires. L'ouvrier a eu, dans sa carrière, bien des coups de pression habituellement bénins, n'entraînant pas d'interruption de travail. Il est absolument impossible de reconnaître, plusieurs mois ou plusieurs années après, quel est celui qui est responsable des accidents tardifs.

Le mécanisme de production de ces lésions ostéo-articulaires est assez mystérieux et s'explique mal par la théorie de Paul Bert.

D'autre part, cette théorie explique mal la production d'accidents différés survenant plusieurs heures ou même plusieurs jours après la décompression.

Aussi, a-t-on été amené non pas à infirmer la théorie de l'embolie gazeuse, qui reste toujours valable, mais à reconsidérer les modalités de production de ces embolies.

Trois Américains, Kahlstrom, Burton et Phenister, ont fait, à la suite de l'autopsie d'un ancien tubiste mort d'une affection tout à fait différente, des constatations qui les ont amenés à cette révision.

Ils ont constaté qu'il ne s'agit pas de lésions initialement articulaires, mais de lésions primitivement osseuses et que ces lésions paraissent très fréquentes. Voici, sans entrer dans le détail des discussions médicales, comment on peut, d'accord avec eux, envisager ces accidents.

Quand une décompression brutale se produit, l'azote entre en effervescence, non seulement dans le sang, mais dans tous les tissus. L'azote du sang n'est que le 1/26 de l'azote dissous dans tout l'organisme. D'autre part, l'azote se dissout cinq fois plus dans la graisse que dans le sang.

Or la moelle osseuse est un tissu graisseux, dissolvant donc beaucoup d'azote.

A la décompression, les gaz vont entrer en effervescence dans la moelle osseuse comme ailleurs, mais ils se trouvent dans une cavité close de toutes parts, dont ils ne pourront sortir que très difficilement par des vaisseaux sanguins peu abondants. Il en résulte dans la cavité médullaire, une surpression, qui écrase le tissu spongieux et facilite les embolies.

Les « moutons » parfois si douloureux en sont vraisemblablement la traduction.

Ceci amène une nécrose aseptique du tissu spongieux des os, avec parfois, comme l'a vu Kahlstrom dans son autopsie et sur les radios d'autres malades, reformation d'os nouveau.

Tant que la nécrose reste enfermée dans une coque osseuse intacte, elle n'a pas de suites fâcheuses ; on n'a jamais vu en particulier de fractures spontanées.

Mais si cette zone de nécrose se produit au voisinage des articulations de la hanche ou de l'épaule, elle va entraîner progressivement une destruction plus ou moins large des têtes humérales et fémorales, et une altération des cartilages. D'où la constitution, à la longue, d'une arthrite progressive avec séquelles graves, apparaissant souvent des mois ou des années après le coup de pression initial (fig. 9, 10 et 11, voir page 19).

Travaux de Haldane sur la décompression par paliers.

Les travaux de Paul Bert ont abouti, comme nous le verrons à la pratique de la décompression lente. Pendant longtemps, cette décompression a été régulièrement progressive, c'est-à-dire que sa vitesse était la même pendant toute l'opération du début à la fin.

Or, Haldane a démontré que le danger d'embolie était plus considérable à la fin de la décompression qu'au début.

L'effervescence de l'azote augmente, en effet, dans le corps au fur et à mesure que la pression extérieure décroît. Elle est donc maxima dans les dernières périodes de la décompression.

Aussi préconise-t-il une décompression d'abord rapide jusqu'à ce que l'on arrive à la moitié de la pression absolue, puis un ralentissement coupé de paliers pendant la période terminale.

B. — SCAPHANDRIERS

Il y a deux variétés de scaphandre :

Scaphandre lourd. C'est le scaphandre classique, avec le casque métallique et le vêtement imperméable. Jusqu'à maintenant, c'est le seul utilisé dans les travaux publics.

Il ne permet guère de descendre à une profondeur supérieure à 35 m ; déjà à 30 m, le travail est pénible.

Pour que l'ouvrier ne soit pas écrasé par l'eau, il faut injecter dans le casque de l'air qui ait la même pression effective que celle que réalise l'eau dans laquelle il se trouve ; c'est-à-dire que s'il est à 20 m de profondeur, l'air devra avoir une pression de 2 kg, s'il est à 30 m, une pression de 3 kg, etc.

La dissolution de l'azote dans le sang se fait comme chez les tubistes et les accidents de compression et de décompression sont les mêmes.

Les scaphandriers sont, par ailleurs, exposés à des accidents qui ne s'observent pratiquement pas dans

les caissons et qui sont dus à l'intoxication par l'acide carbonique CO^2 .

Il en résulte la nécessité de vérifier la ventilation intérieure des appareils de plongée pour que le taux de CO^2 ne soit pas dangereux et d'envoyer un volume d'air suffisant pour faire un balayage du CO^2 dans le casque.

Enfin, si l'arrivée de l'air comprimé et l'échappement des gaz hors du casque ne sont pas exactement équilibrés, il peut survenir des accidents très graves :

- « Squeeze » ou écrasement dans le casque ;
- « Remontée en ballon » ou « blowing-up ».

Scaphandres légers. Ils ne sont pas jusqu'à maintenant utilisés dans les travaux publics.

Ils exposent à un accident spécial, la **narcose de l'azote**. Elle survient à partir de quatre atmosphères. Elle est caractérisée par une sorte d'état d'ivresse avec perte de mémoire et somnolence souvent béate. Mais il s'y ajoute une perte de contrôle des actes, aboutissant à des gestes irraisonnés qui peuvent être très dangereux.

Ces accidents (dits, par les Anglais, effet Meyer-Overton) sont dus à ce que, à ces hautes pressions, la quantité d'azote dissoute dans les graisses des centres nerveux devient considérable et joue le rôle d'un véritable anesthésique.

À partir de neuf atmosphères, la narcose de l'azote empêche toute plongée.

On peut cependant descendre plus bas, mais alors il faut supprimer l'azote.

On ne peut pas employer l'oxygène pur, car lui aussi est toxique à partir de trois ou quatre atmosphères. On a utilisé, en Amérique, des mélanges hélium-oxygène qui ont permis d'arriver à 150 m environ.

En somme, dans les travaux publics, les scaphandriers présentent les mêmes accidents de décompression que les tubistes auxquels il faut joindre les intoxications par le CO^2 et surtout les accidents matériels dus à l'isolement du plongeur et aux multiples causes de danger qu'il rencontre dans son travail sous-marin.

C. — PRÉVENTION DES ACCIDENTS

Elle se déduit logiquement du mécanisme de production de ces derniers.

Elle est réglementée en France par le décret du 1^{er} octobre 1913, modifié par le décret du 26 novembre 1934 et l'arrêté du 9 octobre 1913.

Tubistes.

1^o La mesure essentielle consiste en une décompression lente. Il faut que l'azote dissous par le sang ne repasse trop vite à l'état gazeux et ait le temps de

s'évacuer par les poumons. Ce qu'il faut éviter, c'est l'effervescence cause des accidents.

Le temps de décompression doit être en rapport avec le degré de saturation des tissus en azote qui dépend de la pression de l'air comprimé et de la durée du temps de séjour dans le caisson.

La décompression prescrite par le décret du 1^{er} octobre 1913 est progressive à vitesse croissante. Dans la plupart des pays étrangers, au contraire, on utilise la méthode de Haldane de décompression à vitesse décroissante par paliers ou l'une de ses variantes.

Il y a, certainement lieu de reviser notre règlement sur ce point.

2^o La durée de la période de compression, quoique moins importante, doit aussi être réglementée.

3^o Un local de repos chauffé doit se trouver à proximité de la sortie du sas pour que les ouvriers puissent y séjourner pendant les instants qui suivent la décompression, période pendant laquelle se fait surtout le dégagement d'azote.

4^o En cas d'accident de décompression, le seul remède efficace est la recompression.

L'ouvrier entre dans un sas spécial, dit sas ou caisson médical, où il est recomprimé jusqu'à la pression à laquelle il travaillait et même, pour certains, à une pression un peu supérieure.

Les bulles d'azote se redissolvent dans le sang et les maux disparaissent, à moins qu'il n'y ait déjà des lésions organiques.

Il ne reste plus qu'à pratiquer une décompression très lente. Pour que cette recompression puisse se faire dans de bonnes conditions, il est souhaitable que chaque tubiste soit muni d'une carte ou d'un carnet de santé indiquant l'endroit où, en cas d'accidents, il devra être amené pour pouvoir être recomprimé.

Sélection des ouvriers.

Ceux-ci doivent être obligatoirement examinés par un médecin :

- À l'embauche ;
- Quinze jours après ;
- Puis tous les mois.

En principe, ne devront jamais être embauchés les ouvriers présentant une tare organique quelconque.

Devront être déclarés inaptes aux visites périodiques les ouvriers présentant des troubles organiques ou une sensibilité spéciale se traduisant précisément par la fréquence des coups de pression répétés.

Interdiction d'alcool.

Les boissons alcooliques augmentent la fréquence et la gravité des coups de pression. Elles doivent être interdites d'une façon expresse.

Rôle de la fatigue

Celle-ci prédispose aux coups de pression. La durée du temps de travail doit être calculée en fonction de la pression supportée.

Scaphandriers.

Les mesures préventives sont beaucoup plus difficiles à appliquer. Les prescriptions du décret du 1^{er} octobre 1913 s'appliquent bien aux scaphandriers, mais elles sont insuffisantes, car les risques sont beaucoup plus considérables que chez les tubistes et les conditions de travail ne sont pas les mêmes.

La décompression se fait en graduant le temps de remontée. Il existe dans les marines françaises et étrangères des tables de durée de remontée utilisant, presque toutes, la méthode de Haldane.

En cas de coup de pression, la recompression se fait dans un sas médical où, le plus souvent, en réimmergeant le scaphandrier jusqu'à la profondeur d'où il venait et en le remontant ensuite très lentement.

La durée du temps d'immersion, la fatigue jouent un rôle encore plus grand que chez les tubistes, d'où la nécessité de réglementer le nombre des plongées, le temps de séjour dans l'eau, en fonction de la profondeur à laquelle travaille l'ouvrier.

Voici un exemple montrant la complexité du problème :

Un scaphandrier reste environ 1 h à une profondeur de 35 m. Ayant ressenti une fatigue anormale, il remonte en 5 à 6 mn, y compris un arrêt de 3 à 5 mn au palier de 15 m.

Quelques minutes après, il ressent une violente douleur dans la région lombaire avec cyanose de la face.

Il est réimmergé à 35 m pendant 15 mn.

La remontée est faite en 15 mn y compris un arrêt de 10 mn au palier de 15 m. Pendant tout ce temps, il n'a plus aucun trouble. Mais au bout d'un quart d'heure, la violente douleur lombaire reprend. Faute de chambre de recompression en état de fonctionner, le malade est transporté chez lui. Pendant le transport, il présente une syncope avec paraplégie.

Transporté à l'hôpital le soir, il présente une paraplégie complète des membres inférieurs paraissant définitive.

La décompression a été trop rapide ainsi que le démontrent la cessation de tous les troubles pendant la recompression et leur réapparition quand celle-ci a cessé.

Pour éviter des accidents de cet ordre et aussi pour n'être pas obligé de recourir à ce procédé primitif que constitue la réimmersion, il y aurait intérêt à mettre au point un caisson individuel de recompression qui permettrait de transporter l'ouvrier dans le sas médical tout en le maintenant à une pression suffisante pour éviter l'effervescence des gaz.

Des études sont en cours à ce sujet.

D. — CONCLUSION

1° Le travail dans l'air comprimé expose à des « coups de pression » qui peuvent avoir des conséquences graves.

2° A côté des accidents aigus qui sont incontestablement des accidents de travail, on constate des lésions ostéo-articulaires chroniques à début imprécis. Elles viennent d'être classées parmi les maladies professionnelles (tableau 29).

3° Les accidents sont évitables si l'on applique d'une façon rigoureuse les règles de prévention et, surtout, si la décompression se fait de façon suffisamment lente.

A ce point de vue, une commission a été constituée au ministère du travail pour réviser le décret du 1^{er} octobre 1913 en tenant compte des notions nouvelles que nous venons d'exposer.

4° L'étude des moyens de prévention et de traitement doit être poursuivie, tant pour les tubistes que pour les scaphandriers.

La chambre de recompression individuelle paraît particulièrement intéressante pour ces derniers.

Ainsi seront encore diminués les dangers que leur travail fait courir à ces ouvriers, dangers que, déjà, les découvertes de Paul Bert et de ses successeurs ont permis de limiter dans de grandes proportions.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Le docteur Raymond et le général Froment m'ont fait revivre 52 ans d'exercice dans les Travaux publics (air comprimé), au cours desquels j'ai eu l'occasion de descendre plusieurs fois en scaphandre.

Je leur exprime, en votre nom et en mon nom personnel, nos sincères remerciements pour les exposés intéressants qu'ils viennent de nous faire.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.



Fig. 9. — Articulation de l'épaule.
Déformation de la tête de l'humérus.



Fig. 10. — Articulation de la hanche (côté sain).



Fig. 11. — Articulation de la hanche (côté malade).
Grosse déformation de la tête du fémur.

N° 12.074

ARRAULT et C^{ie}, Tours (France)

Dépôt légal : 3^e trimestre 1949

Le Directeur-Gérant : M. GUÉRIN

(Reproduction interdite)

ESSAIS ET MESURES, N^o 12

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

EXPOSÉ DU 12 AVRIL 1949

SOUS LA PRÉSIDENTIE DE **M. Robert LÉVI**,
Directeur du Service Technique des Installations Fixes de la S. N. C. F.

COMPTE RENDU D'ESSAIS
SUR LE FLAMBAGE D'UNE TIGE POSÉE
SUR SUPPORTS ÉLASTIQUES ÉQUIDISTANTS

Par **M. A. LAZARD**,
Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Chef des Divisions des Ouvrages d'Art et des Études d'Aménagements de la S. N. C. F.

SOMMAIRE

	Pages.		Pages.
Allocution du Président.....	3	6. Deuxième extension. Domaine inélastique.....	15
1. Historique.....	4	7. Troisième extension. Cas des membrures de ponts.....	15
2. Description des essais.....	5	8. Ebauche d'une généralisation de la notion de rigidité transversale d'une tige.....	17
3. Résultats des essais.....	6	Conclusion.....	24
4. Comparaison avec le milieu élastique continu.....	9	Conclusion du Président.....	25
5. Première extension. Rigidité de torsion et encastrement des extrémités.....	9	Bibliographie.....	26



PHOT. 1. — Photographie de la machine ayant servi aux essais de M. Lazard de 1945 à 1948 (partie inférieure).
Vue de la barre n° 5 flambant en trois demi-ondes.

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

Les questions relatives au flambement sont de celles qui doivent retenir particulièrement l'attention des techniciens de la Construction Métallique.

En effet, si les ouvrages en maçonnerie ou en béton armé, du fait de la dimension de leurs sections, ne sont guère exposés à ce risque — il suffit pratiquement de considérer des contraintes limites fixées par les caractéristiques des matériaux — la Construction Métallique en raison de sa légèreté connaît le risque de flambement; par contre elle n'est pas exposée à se rompre par traction ou par compression simple. Le risque de décohesion, s'il existe, pourra vraisemblablement disparaître moyennant des règles relatives à l'exécution des constructions métalliques.

En contre-partie de leur légèreté leur risque essentiel est donc celui du flambement. Malheureusement le problème du flambement est très complexe, difficile à pénétrer aussi bien par l'expérience que par la théorie.

Les études théoriques sont ardues, pénibles à suivre, les expériences sont difficiles, nombreuses, et, par conséquent, très coûteuses.

La plupart des études faites à l'étranger sont peu connues en France, du fait de la rareté des traductions et en particulier des traductions bien faites; aussi faut-il

savoir gré à ceux qui, comme M. LAZARD, en faisant l'amalgame de leurs recherches propres et des travaux dont ils ont connaissance à l'étranger, donnent aux techniciens de la Construction Métallique des indications qui leur permettront, je suppose, d'arriver à maîtriser complètement le flambement.

M. LAZARD, avant d'entrer à la S. N. C. F. où il dirige maintenant la Division des Ouvrages d'Art, s'est signalé par diverses études relatives à des domaines variés de la science de l'Ingénieur. Je citerai en particulier les études sur l'élasticité, la stabilité des talus, l'hydraulique. Le sujet qu'il va traiter devant vous a fait l'objet d'une Note qui a paru en 1946 dans les *Annales des Ponts et Chaussées* relative au « Flambement en milieu élastique discontinu ».

Il s'agit d'un problème qui concerne, par exemple, la stabilité des membrures comprimées, lesquelles membrures comprimées tenues de place en place par leurs attaches avec les diagonales et les montants ont comme image la tige attachée sur des supports élastiques équidistants.

Vous voyez que le problème important que M. LAZARD va traiter devant vous a une application beaucoup plus générale que ne laissait présumer le titre modeste de la conférence d'aujourd'hui.

RÉSUMÉ

L'auteur rend compte des expériences de flambement qu'il a effectuées, de 1945 à 1948 (pour vérifier la théorie générale qu'il avait établie en 1942) sur des tiges de 2,235 m de long supportées en un, deux ou trois points par des supports développant des réactions transversales élastiques (c'est-à-dire proportionnelles aux déplacements). Les charges expérimentales de flambement ont toujours été comprises entre 90 % et 100 % des charges théoriques.

L'auteur discute ensuite de la validité de l'application à ce problème des solutions d'ENGESSER et de M. TIMOSHENKO établies pour des supports élastiques répartis d'une manière continue le long de la tige (milieu élastique continu). Il montre que la solution de TIMOSHENKO donne toujours une valeur de la charge de flambement supérieure à la valeur vraie, mais que la différence reste très petite pour les faibles valeurs de la rigidité transversale des supports tandis qu'elle croît et peut devenir importante quand la rigidité croît; la différence est d'autant plus faible que le nombre des supports est plus grand.

L'auteur donne des abaques sur lesquels il a réuni tous les résultats par lui connus tenant compte de l'intervention de la rigidité de torsion des supports et des conditions de fixité ou d'encastrement des extrémités de la tige.

Il traite ensuite des derniers travaux connus sur la stabilité des membrures comprimées des ponts et conclut que la théorie élémentaire peut parfaitement être appliquée et donner des résultats valables à 10 % près environ.

L'auteur ébauche enfin une généralisation de la notion de rigidité transversale d'une tige chargée ou tendue. Les lois de l'addition des rigidités et de la variation des flèches lui permettent de retrouver les résultats d'expériences américaines récentes et même d'en expliquer certaines particularités.

SUMMARY

The author gives an account of the buckling tests which he carried out between 1945 and 1948 (in order to verify the general theory which he had formed in 1942) on rods 2,235 m long (7'4") supported at one, two or three points by supports developing transverse elastic reactions, i. e. proportionate to displacements. Experimental buckling loads have always reached 90 % to 100 % of theoretical loads.

The author then questions the validity of applying to this problem the solutions of ENGESSER and TIMOSHENKO for elastic supports distributed continuously over the length of the rod (continuous elastic medium). He shows how TIMOSHENKO's solution always gives a value for the buckling load greater than the real value, but that the difference is very small for low values of rigidity across the supports whilst the difference increases and may be considerable when rigidity increases; the larger the number of supports the smaller the difference.

The author has represented on diagrams the results he has found out, taking into account the effect of stiffness in torsion of the supports and the value of anchorage at the ends of the rods.

He then deals with the latest research work on the stability of compression members of bridges and concludes that the elementary theory is entirely reliable here and gives results valid to within 10 %.

Finally, the author outlines the idea of rigidity across a rod under compressive or tensile stressing. By means of the laws of the sum of rigidities and the variation of deflection he is able to obtain results identical with those of recent American experiments and even to explain some details connected with them.

EXPOSÉ DE M. LAZARD

Je vais vous rendre compte des essais que j'ai effectués afin de vérifier la théorie du flambement des tiges de moment d'inertie constant, articulées à leurs extrémités, supportées par des supports équidistants développant des réactions transversales élastiques; et vous donner connaissance de la documentation la plus récente que j'ai pu réunir sur la question.

Je salue les membres de la Construction Navale et de la Construction Aéronautique présents dans cette salle. J'ai prié l'Institut Technique de leur adresser des invitations car la question que je vais avoir l'honneur de traiter intéresse toute la construction en général, et comme vous le verrez, le premier chercheur appartenait à la Construction Navale, tandis que les recherches les plus récentes proviennent de l'Industrie aéronautique américaine.

Je me propose de diviser mon exposé de la manière suivante :

- 1° Historique;
- 2° Description des essais;
- 3° Résultats des essais;
- 4° Comparaison avec le milieu continu;
- 5° Première extension : Rigidité de torsion. Extrémités encastées;
- 6° Deuxième extension : Domaine inélastique;
- 7° Troisième extension : Cas des membrures de ponts;
- 8° Ébauche d'une généralisation de la notion de rigidité transversale.

I. — HISTORIQUE

C'est en octobre 1942, en zone libre, alors que comme auxiliaire je dirigeais un bureau d'études d'autoroutes, que le problème du flambement d'une tige supportée élastiquement s'est posé à moi. Après avoir consulté toute la documentation dont je pouvais avoir connaissance à l'époque, et dans l'impossibilité où j'étais de me rendre à Paris, je me décidai à en aborder l'étude.

Je montrai que dans le cas des extrémités fixes mais articulées on a l'expression :

$$(A) \frac{K}{\frac{F}{d}} = \frac{2 \left(1 - \cos \frac{n\pi}{N+1} \right)}{1 + \frac{1 - \cos \frac{n\pi}{N+1}}{\cos \frac{n\pi}{N+1} - \cos d \sqrt{\frac{F}{EI}}} \times \frac{\sin d \sqrt{\frac{F}{EI}}}{d \sqrt{\frac{F}{EI}}}$$

et qu'une expression presque identique donne une remarquable approximation du cas des extrémités libres de se déplacer (membrures de ponts).

Dans (A) :

- K représente la rigidité transversale de chaque support, rapport de la réaction opposée par le support au déplacement correspondant;
 d l'écartement des supports;
 N le nombre des supports;
 F la charge de flambement;
 n le nombre de demi-ondes de la déformée;
 I le moment d'inertie;
 E le coefficient d'élasticité.

Et seul, ne disposant que d'un petit agenda Morin et de ma règle à calculs, j'ai effectué tous les calculs pour dresser les courbes que je montrerai tout à l'heure (1).

J'ai été amené, en préparant la présente conférence, à faire recalculer certains points pour lesquels mon calcul primitif manquait de précision (voir quatrième partie).

En 1944, peu de temps après la libération de la portion du territoire où je me trouvais, j'ai fait fabriquer une petite machine très sommaire pour vérifier la théorie : Les résultats, malgré leur imprécision, ont été satisfaisants. Dès mon retour à Paris j'ai cherché un laboratoire où je pourrais expérimenter avec précision. Le Laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées n'étant pas, à l'époque, en état de procéder à de telles expériences, j'ai trouvé une aide très compréhensive auprès des Comités d'organisation du Bâtiment et des Travaux Publics. Je tiens à les en remercier, ainsi que M. GUÉRIN.

Les essais furent entrepris aux Laboratoires de la rue Brancion, en l'absence de M. L'HERMITE qui se trouvait alors aux États-Unis. Ils se poursuivirent avec des fortunes diverses : difficultés pour se procurer les matériaux nécessaires; instabilité du personnel chargé de la conduite de ces essais. Je tiens à remercier ici MM. PAUL, BARATHON et CHAGNAUD (seul ce dernier est encore au Laboratoire) de l'aide qu'ils m'ont apportée.

Ces essais, commencés en 1945, se sont poursuivis, de loin en loin, jusqu'en 1947. Puis à cause des difficultés d'approvisionnement du métal ils ont été abandonnés durant 18 mois. Je n'ai pu les reprendre récemment qu'après mon entrée à la S. N. C. F., la Société Nationale ayant mis à ma disposition un laboratoire et les crédits nécessaires pour les achever. Ils ont repris le 20 septembre 1948, avec du personnel de la Division des ouvrages d'art, que je tiens ici à remercier (MM. DESHAYES et GUYARD).

(1) Elles figurent dans mon article des *Annales des Ponts et Chaussées*, mars-avril 1946.

Je précise que je n'ai expérimenté que le cas des extrémités articulées, avec un, deux ou trois supports élastiques.

Cette interruption des essais aura été, en définitive, fructueuse. Car ayant dû les reprendre avec un personnel nouveau et remonter la machine, j'ai pu rapidement mettre au point le dispositif expérimental et supprimer une des causes qui entachait d'erreurs nos expériences de la rue Brancion.

Je venais à peine de mettre au point le dispositif expérimental et d'obtenir les premiers résultats réellement satisfaisants dont je vous entretiendrai plus loin que je recevais une lettre de M. le Professeur ROŠ, de Zürich, m'annonçant que le sujet avait déjà été traité par MM. KLEMPERER et GIBBONS dans un article paru dans une revue allemande de 1933 et cité dans le célèbre traité de la Stabilité Élastique de M. le Professeur TIMOSHENKO, de 1936 ⁽¹⁾. J'ai pu trouver cette revue à la Bibliothèque de l'École des Mines, où elle me fut très aimablement communiquée. J'y vis qu'effectivement la question avait déjà été traitée pour les cas de un, deux et trois supports avec extrémités articulées. Les auteurs annonçaient, à la fin de leur article, qu'ils avaient procédé à des expériences concluantes (dont ils ne donnaient aucun détail) et que leurs calculs avaient été utilisés pour la construction du *Zeppelin Akron* aux États-Unis par la Société *Good year-Zeppelin*.

Vous pouvez imaginer que je fus un peu découragé ; je n'en décidai pas moins de poursuivre les essais, qui furent achevés quelques jours plus tard.

Entre temps j'étais entré en correspondance avec de nombreux Américains, grâce aux adresses que m'avait données M. le Professeur VON KÁRMÁN, en juillet 1948. J'ai reçu, et je continue à recevoir, une abondante documentation très intéressante sur le sujet qui nous intéresse aujourd'hui et sur d'autres problèmes de flambement. Il en ressort que la question a été résolue dès 1932 par MM. KLEMPERER et GIBBONS, que d'abondantes études ont suivi depuis lors, et qu'elles émanent toutes d'Ingénieurs de l'Industrie aéronautique américaine. Je vous parlerai, dans la cinquième partie, des résultats de MM. TU ; ZAHORSKI ; BUDIANSKY, SEIDE, WEINBERGER ; SCHWARTZ et BOGERT.

Plus récemment notre Président de séance me communiquait un livre, datant de 1940, où M. MASSONNET, ce jeune ingénieur belge de très grand talent qui vient de présenter deux communications remarquées au Congrès de l'Association des Ponts et Charpentes de Liège, traitait d'une manière remarquable des questions de vibrations et de flambement. Ce livre devrait être, à mon avis, dans toutes les bibliothèques techniques. J'utiliserai quelques-uns des résultats dans la dernière partie de mon exposé.

Ayant à peu près achevé les graphiques que je voulais projeter aujourd'hui, j'ai demandé très récemment à mes collaborateurs de rechercher la littérature qui pourrait traiter de tiges possédant des inerties variables. Mardi,

il y a exactement quinze jours, j'avais connaissance d'une communication de M. le Professeur KRISO de Brno, parue dans le volume III des *Mémoires de l'Association des Ponts et Charpentes*, puis d'autres articles du même auteur dans les volumes VI et VII ; enfin d'un article de M. le Professeur BAZANT de Prague dans le volume VII, mettant en formules le procédé graphique de calcul des membrures comprimées des ponts de M. le Professeur KEELHOFF. L'article de M. KRISO fait allusion à une formule de M. BLEICH, qui, d'après les graphiques, semblait correspondre de très près à la courbe pour un nombre infini de supports dont je vous entretiendrai tout à l'heure. Elle aurait été publiée dans la revue allemande *Stahlbau*, en 1919. Je n'ai pu me procurer cette revue à Paris ; mais la formule est reprise dans le traité de M. BLEICH, sur la construction des Ponts Métalliques, datant de 1924, qui lui se trouve, en double exemplaire, à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées. Cette formule est, comme vous le verrez tout à l'heure, tout à fait remarquable ; il est bien regrettable qu'elle soit restée inconnue en France.

J'en ai fini avec cet historique. Je voulais surtout vous montrer combien notre documentation est mal faite en France. Aucune des compétences, auxquelles j'ai dû soumettre mon article avant sa publication dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, n'a pu m'indiquer que la question était déjà résolue depuis 1932, voire au moins partiellement depuis 1919.

II. — DESCRIPTION DES ESSAIS

La machine qui a servi aux essais est une ancienne machine de traction, de la rue Brancion, transformée pour transmettre des efforts de compression, par levier, d'amplification 10, à l'extrémité duquel on ajoutait des poids de 500 g (soit 5 kg pour les efforts).

Les axes des appuis étaient distants de 2,235 m. Les barres essayées ont eu des sections de 40 mm à 45 mm par 9 mm à 10 mm. Dans ces conditions les élanements étaient très grands et l'on se trouvait certainement en domaine élastique.

Les réactions transversales élastiques étaient données par des lamelles (ou barrettes) en acier étiré, de 13 mm par 2 mm, passant dans les lumières découpées dans deux U en aluminium, disposés parallèlement aux barres essayées et dont l'écartement pouvait être réglé à volonté pour donner la rigidité transversale désirée. Comme on ne peut prévoir, à priori, dans quel sens la barre flambera, chaque support est constitué par un jeu de deux lamelles opposées, dont une seule aura à travailler. Ces U en aluminium se sont révélés très flexibles et les premiers réglages d'écartement délicats. Mais ce défaut fut en définitive heureux. En effet, il fut impossible de nous réapprovisionner en barrettes. Or quand une tige flambe, le phénomène est très brutal et les barrettes sont fortement déformées : il faut les redresser à chaque fois et leur rigidité s'en trouve modifiée. Au début des expériences on avait compté sur un étalonnage théorique, fonction de l'écartement des couteaux des lumières. A la reprise des essais je me suis rendu compte de la nécessité de réétalonner expérimentalement l'ensemble des barrettes, après chaque

(1) L'édition française ne date que de 1943, c'est-à-dire postérieurement à mes recherches.

expérience, dans une bande d'écartements très voisins de ceux qui étaient envisagés pour la prochaine expérience ; puis, pour cette nouvelle expérience, d'appareiller de deux en deux les lamelles demandant les écartements les plus voisins et, enfin, de réaliser ces écartements, légèrement variables d'un couple de barrettes à un autre ; en tordant les deux U porteurs des lumières. Grâce à la flexibilité de ces U, j'ai pu donner sans grosses difficultés une rigidité transversale sensiblement égale à tous les supports intermédiaires le long d'une même tige.

On sait que la partie la plus délicate dans une expérimentation sur le flambement est la réalisation des appuis. On avait cru pouvoir éliminer toutes les causes d'erreurs, rue Brancion, en entaillant les extrémités des barres en V et en les faisant reposer sur des axes cylindriques en acier dur dont les extrémités étaient, à leur tour, prises dans des cages de roulements à billes disposées dans des chapes sur lesquelles agissaient les efforts de compression. Malgré ces précautions nous avions obtenu des résultats que nous ne pouvions expliquer : les charges expérimentales de flambement arrivaient à dépasser de 10 ou 20 % les charges théoriques d'EULER.

En reprenant les essais j'avais été amené, ne trouvant plus de tiges en acier étiré, à faire découper des barres de 45 mm de large dans des larges plats, d'origine anglaise, de 9,7 mm d'épaisseur. Il s'est trouvé qu'avec cette largeur de 45 mm les nouvelles tiges n'entraient plus dans les chapes d'appuis ; en retirant une cage d'un roulement à billes on s'aperçut que les billes étaient cassées. Il fallut en revenir à des appuis en V, taillés dans des patins de rails et graissés. Immédiatement l'anomalie signalée ci-dessus disparut : les charges de flambement coïncidèrent avec les charges d'EULER, à condition toutefois d'empêcher les frottements parasites d'intervenir en retardant le flambage. Il suffit de donner de légers coups de percus-

sion sur les tiges, peu avant l'instant où l'on escompte le flambage, pour qu'en aucun cas la charge expérimentale ne dépasse plus la charge théorique.

En résumé, avec des appuis en V, en donnant de légères percussions aux tiges, et en appareillant à chaque expérience les barrettes les plus semblables, il a été possible d'éliminer les principales erreurs de ces expériences et d'obtenir des résultats satisfaisants.

III. — RÉSULTATS DES ESSAIS

Les photos 1 (page 2), 2, 3 (page 27) donnent un aperçu du bâti de la machine, des deux U en aluminium, des barrettes transversales prises dans les lumières des U, et de tiges ayant flambé. Les photos 1 et 2 se rapportent à la même expérience : la barre n° 5, soutenue en deux points, a flambé en trois ondes : on voit les barrettes droites n'ayant pas bougé. La photo 1 montre la partie basse de la machine ; la photo 2 la partie haute. La photo 3 se rapporte à la barre n° 6, soutenue en deux points, et ayant flambé en deux ondes : on voit très distinctement une des barrettes fortement courbée : on conçoit qu'après redressement il fallait un réétalonnage très soigné.

Les graphiques de la figure 1 donnent l'ensemble des résultats expérimentaux, obtenus au Laboratoire du Rail de la S. N. C. F., du 20 septembre 1948 au 7 octobre 1948. Pour chaque cas on voit à côté des courbes théoriques (très proches de droites), les points expérimentaux, chacun portant un chiffre indiquant le nombre de demi-ondes de la déformée. Ceux qui n'en portent point correspondent aux cas où deux déformées distinctes étaient simultanément possibles. Il était alors extrêmement facile de faire

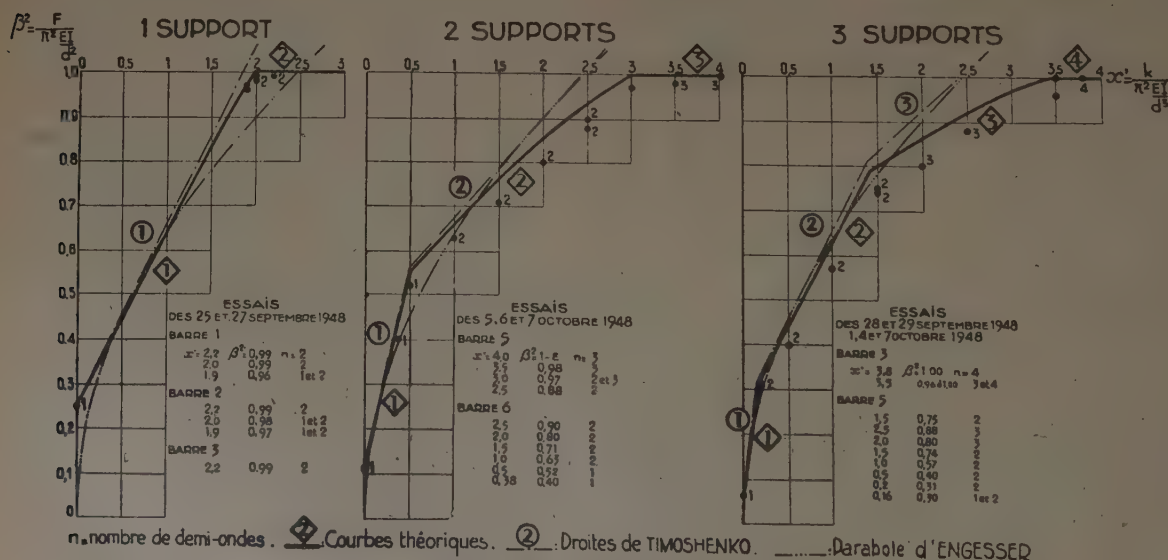


FIG. 1. — Résultats des essais.

passer la barre d'une position d'équilibre à une autre ; un effort transversal infime suffisait : on avait l'impression très curieuse d'avoir un bâton de guimauve entre les doigts, susceptible d'être façonné à sa guise.

Les points expérimentaux sont tous, ou juste sur les courbes théoriques ou juste au-dessous. L'écart peut provenir du mode expérimental ; les percussions, données aux barres pour empêcher un flambage retardé, ont pu avancer un peu ce flambage. D'autre part, comme il a été expliqué, la rigidité transversale des supports n'a pas été rigoureusement égale d'un support à l'autre, et c'est naturellement la plus faible valeur qui a entraîné le flambement de la barre. L'écart peut provenir aussi de l'intervention de l'effort tranchant, dont la théorie ne tient pas compte. Quoiqu'il en soit les écarts entre les valeurs de flambage théoriques et expérimentales, pour une rigidité donnée, n'ont, en aucun cas, atteint 10 %.

Ces graphiques portent également des courbes dont il sera reparlé dans la quatrième partie de cet exposé : une parabole qui représente la solution d'ENGESER, et des droites qui représentent la solution de TIMOSHENKO. Je me contenterai pour l'instant de faire remarquer que les droites de TIMOSHENKO sont toujours au-dessus des courbes théoriques, et qu'au contraire la parabole d'ENGESER coupe et recoupe à plusieurs reprises les courbes théoriques.

La photo 4 (page 27) donne deux vues de l'appareil utilisé par MM. BACHE et KLEMPERER pour vérifier à la Goodyear Zeppelin la validité des formules de MM. KLEMPERER et GIBBONS et faire d'autres essais dont je vous entre-

tiendrai dans la dernière partie de mon exposé. C'est l'amélioration d'un appareil plus ancien, dû à M. DONNELL, également Ingénieur de l'aéronautique américaine et présentement directeur de la *Revue de Mécanique Appliquée*. L'appareil a environ 1 m de haut ; on y voit une tige flambant en trois ondes avec deux supports. Evidemment moins précis que mon propre dispositif, il a confirmé très exactement la théorie dans les cas d'un et deux supports.

En résumé l'expérience a parfaitement confirmé la théorie.

Il m'a paru intéressant de condenser les résultats de la théorie sur les deux figures suivantes, 2 et 3, établies chacune dans un système de coordonnées différent.

La figure 2 est établie dans le système de KLEMPERER et GIBBONS (abscisses s ; ordonnées p) dans lequel on compare entre elles des tiges ayant la même longueur L . On voit comment on peut augmenter la charge de flambement d'une tige en augmentant le nombre de supports ou la rigidité transversale de chaque support :

La figure 3 est établie dans mon système (abscisses x' ; ordonnées β^2) dans lequel on compare des tiges supportées par des supports séparés par le même intervalle d . Si la superposition de toutes ces courbes, dont de nombreux segments sont communs, comme je l'ai montré dans mon article de 1946, peut paraître confuse ⁽¹⁾, elle fait apparaître nettement leur enveloppe. Cette enveloppe, qui correspond théoriquement au cas d'un nombre infini de supports, est à utiliser pratiquement dès qu'il y a au moins six supports. M. TU est le premier, à ma connaissance, à en avoir calculé une expression exacte ; comme il semble être le premier à avoir publié l'équation générale du problème. Mais ses équations sont données sous une forme compliquée. Voici la forme sous laquelle je crois devoir mettre l'expression de l'enveloppe :

$$(B) \quad \frac{K}{F} = \frac{2 \left(1 - \cos d \sqrt{\frac{F}{EI}} \right)}{\left(1 + \sqrt{\frac{\sin d \sqrt{\frac{F}{EI}}}{d \sqrt{\frac{F}{EI}}}} \right)^2}$$

Je ne me suis pas servi de cette expression pour la dessiner ; je me suis contenté de tracer l'enveloppe de mes courbes. A l'origine toutefois le dessin était trop imprécis. Un calcul aux limites de l'expression (B) m'a montré que l'enveloppe était tangente, à l'origine, à la parabole d'ENGESER.

$$(C) \quad F = 2 \sqrt{\frac{K \cdot EI}{d}}$$

tout en restant à sa droite (ou en dessous).

La courbe de BLEICH est très voisine de la courbe enveloppe exacte ; elle se situe légèrement au-dessus. Il est très regrettable qu'elle ne soit pas devenue classique en France, depuis 1919.

⁽¹⁾ A la projection, elles étaient colorées.

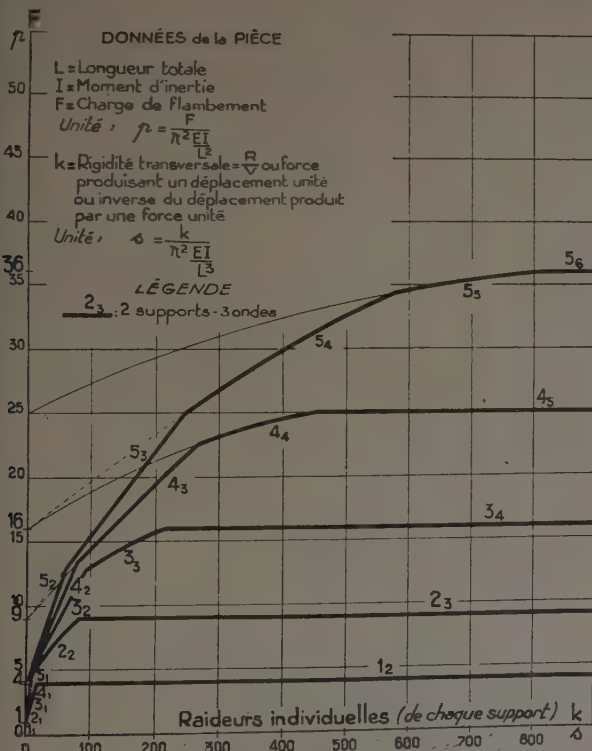


FIG. 2. — Résultats généraux.

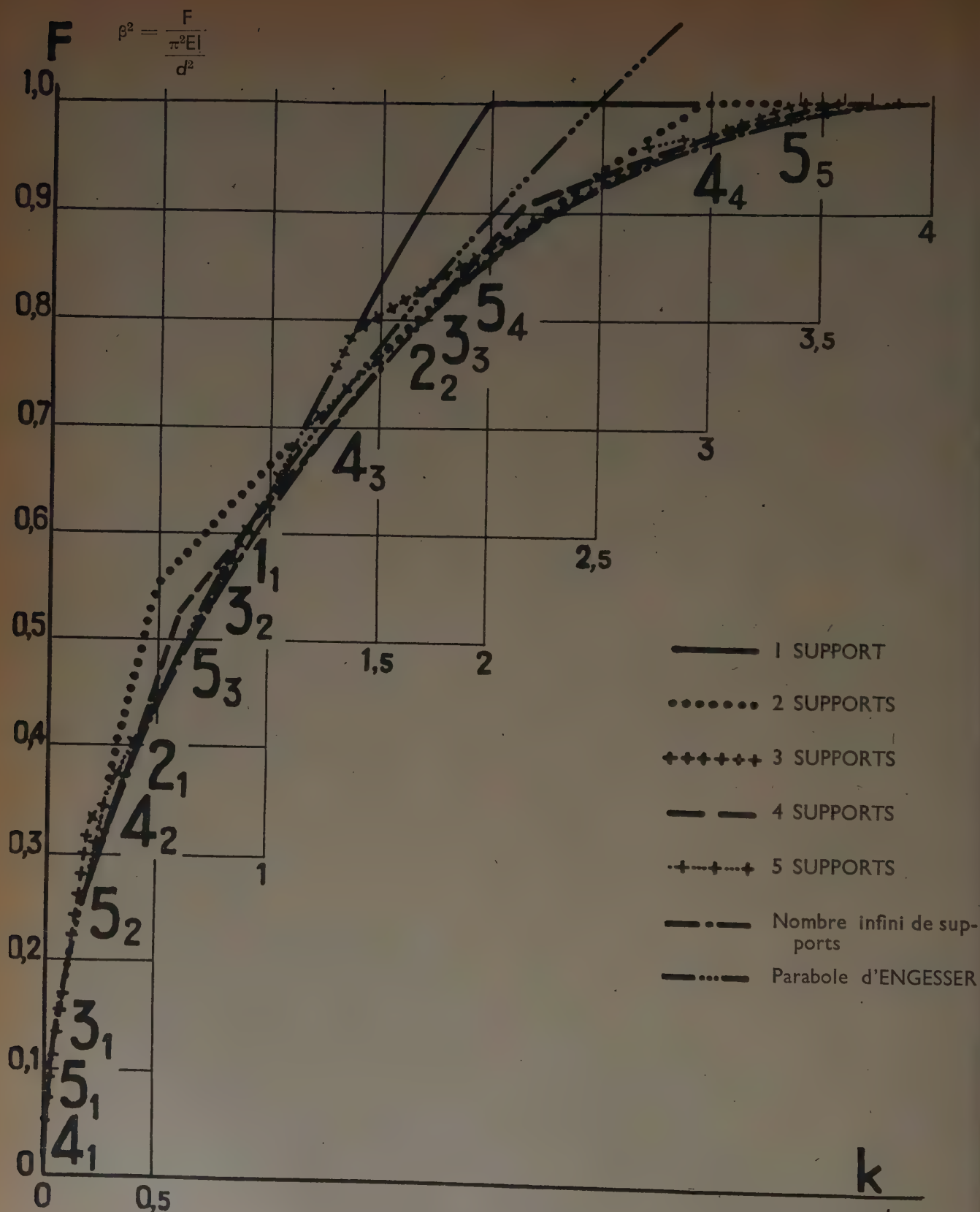


FIG. 3. — Résultats généraux.

$$x' = \frac{k}{\frac{\pi^2 EI}{d^3}}$$

IV. — COMPARAISON AVEC LE MILIEU ÉLASTIQUE CONTINU

Je vais, si vous le permettez, m'étendre un peu sur la question de la comparaison des résultats donnés par la théorie exacte — entièrement confirmée par l'expérience, comme nous venons de le voir — et ceux que donne la théorie du flambement d'une tige plongée dans un milieu élastique continu. La question est importante, surtout pour la construction des ponts, car, jusqu'ici, en l'absence d'une théorie exacte on ne pouvait qu'appliquer, à titre d'approximation, la théorie du milieu continu, en supposant la rigidité transversale des supports répartie d'une manière uniforme le long de la tige. Si les règlements français, toujours libéraux, ne préconisent aucune solution, certains règlements étrangers, par contre, imposent la solution d'ENGESSER, et les notices techniques de la S. N. C. F. proposent, à leur exemple, la même solution, quoique la solution classique de M. TIMOSHENKO soit également employée.

Je rappelle tout d'abord la critique fondamentale formulée pour le calcul des membrures comprimées des ponts par M. KEELHOFF à l'encontre de la solution du milieu continu ; critique visant à la fois l'uniforme répartition le long de la tige des rigidités transversales différentes de chacun des supports et la prise en compte d'une charge de flambement unique pour tous les panneaux.

Sans vouloir dissocier ici les deux causes d'erreurs, je me contente de citer le cas où M. KEELHOFF aurait reconnu une erreur de 217 % qui, évidemment, est énorme.

La comparaison entre les deux théories a été tentée par MM. KLEMPERER et GIBBONS dans leur article de 1933, mais à mon avis ils ont commis une erreur, que j'ai rectifiée dans le graphique (fig. 4).

Ils ont porté en ordonnées la charge de flambement et en abscisses la rigidité totale des supports. Cela est aisé pour le milieu continu où il suffit de multiplier la rigidité unitaire du milieu e par la longueur L de la tige. Cela est plus délicat pour le milieu discontinu, où il faut bien faire attention de multiplier la rigidité d'un support par le nombre total de panneaux, soit $(N + 1)$, et non comme KLEMPERER et GIBBONS par le nombre de supports soit N (ce qui revient à abandonner un demi-panneau à chaque extrémité de la tige).

La figure 4 donne le graphique correct ⁽¹⁾. On voit apparaître des droites, qui sont la traduction de la solution TIMOSHENKO (droites obtenues par KLEMPERER et GIBBONS sans qu'ils aient mentionné explicitement cette traduction), et une parabole enveloppe qui est la traduction de la solution ENGESSER, datant de 1894, et qui est une solution singulière des équations du problème du milieu continu. KLEMPERER et GIBBONS ont bien donné l'équation d'une parabole enveloppe, mais qui différait un peu de la solution d'ENGESSER, du fait de l'erreur signalée.

On voit que la parabole d'ENGESSER coupe et recoupe constamment les courbes exactes : je l'avais déjà fait

remarquer dans la troisième partie : je propose donc d'abandonner cette solution puisqu'on ne peut jamais savoir si la valeur calculée par cette méthode est supérieure ou inférieure à la valeur vraie.

Par contre, on voit que les droites de TIMOSHENKO sont toujours au-dessus et à gauche des courbes vraies. J'ai pris beaucoup de soins pour le vérifier, le graphique de KLEMPERER et GIBBONS donnant, au contraire, tant que la tige ne flambe pas entre nœuds immobiles des valeurs vraies supérieures à celles de TIMOSHENKO. Pour m'en convaincre j'ai été amené : d'une part à calculer le cas de neuf supports (je n'ai pas fait figurer les courbes correspondantes pour ne pas surcharger le graphique), et d'autre part, à recalculer (comme je l'ai dit dans la première partie) certains segments de courbes, qui, d'après mes calculs de 1942, semblaient couper les droites de TIMOSHENKO, et qui, rectifications faites, ne les coupent pas. Ce faisant j'ai trouvé les raisons pour lesquelles ces courbes et droites ne peuvent se couper : vous me dispenserez d'en faire ici la démonstration.

Ceci posé, on en déduit que la solution TIMOSHENKO donne des valeurs à la charge de flambement *trop grandes*, c'est-à-dire dans un sens *défavorable à la sécurité*.

Toutefois il faut remarquer que les différences ne sont guère sensibles quand les rigidités sont faibles, et qu'elles ne deviennent sensibles voire considérables que, lorsque les rigidités croissant, on approche du flambement entre nœuds. D'autre part, les différences sont d'autant plus faibles que le nombre de supports est plus grand ; c'était là une conclusion presque évidente a priori, mais qu'il semble bon de confirmer. En particulier l'on voit que, contrairement à ce qu'on pouvait imaginer à première réflexion, l'écart entre la solution vraie pour le cas d'un support unique et la solution TIMOSHENKO est faible pour le flambement en une onde.

En définitive je propose d'abandonner les solutions de TIMOSHENKO et d'ENGESSER. J'ai préparé, à l'usage de la Société Nationale des Chemins de fer français, une notice technique modificatrice comprenant les abaques de la théorie exacte (abaques figurant à mon article de 1946, corrigés comme il vient d'être dit). Toutefois, pour les très faibles valeurs de la rigidité transversale on peut continuer à appliquer l'expression (C) d'ENGESSER (voir troisième partie, *in fine*).

V. — PREMIÈRE EXTENSION.

RIGIDITÉ DE TORSION ET ENCASTREMENT DES EXTRÉMITÉS

Les calculs et les expériences dont il vient d'être fait mention ne concernent que le cas où les supports s'opposaient à un déplacement transversal de la tige. Mais ils peuvent aussi s'opposer à un déplacement angulaire de la tige ; ils possèdent alors de la rigidité de torsion. Le cas se présente en particulier avec des raidisseurs de plaques, et intéresse spécialement les industries navales et aéronautiques. Enfin on peut concevoir tous les genres d'encastrement des extrémités.

⁽¹⁾ Ne pas confondre les figures 2 et 4.

J'ai concentré sur les figures 5, 6, 7, 8 ci-après, et sur la figure 9 (page 28) tous les renseignements que j'ai pu glaner dans la littérature américaine. Les cas traités par MM. ZAHORSKY (à l'occasion d'un problème de plaques raidies, qu'il m'a fallu transposer au cas traité ici); TU; BUDIANSKY, SEIDE, WEINBERGER, balaient un champ suffisamment vaste d'hypothèses pour qu'on puisse, grâce à ces figures, traiter à l'avenir tous les cas susceptibles de

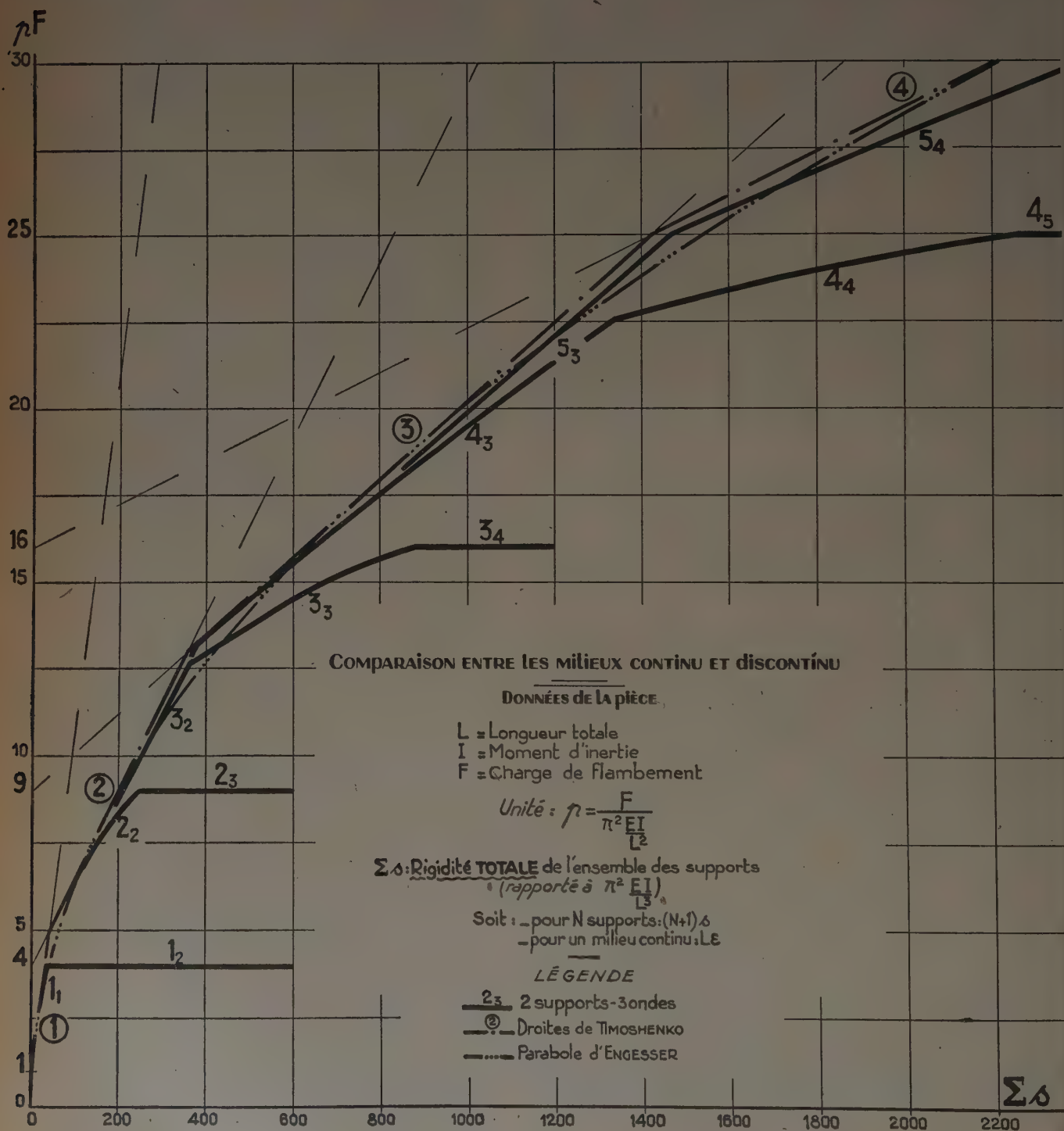
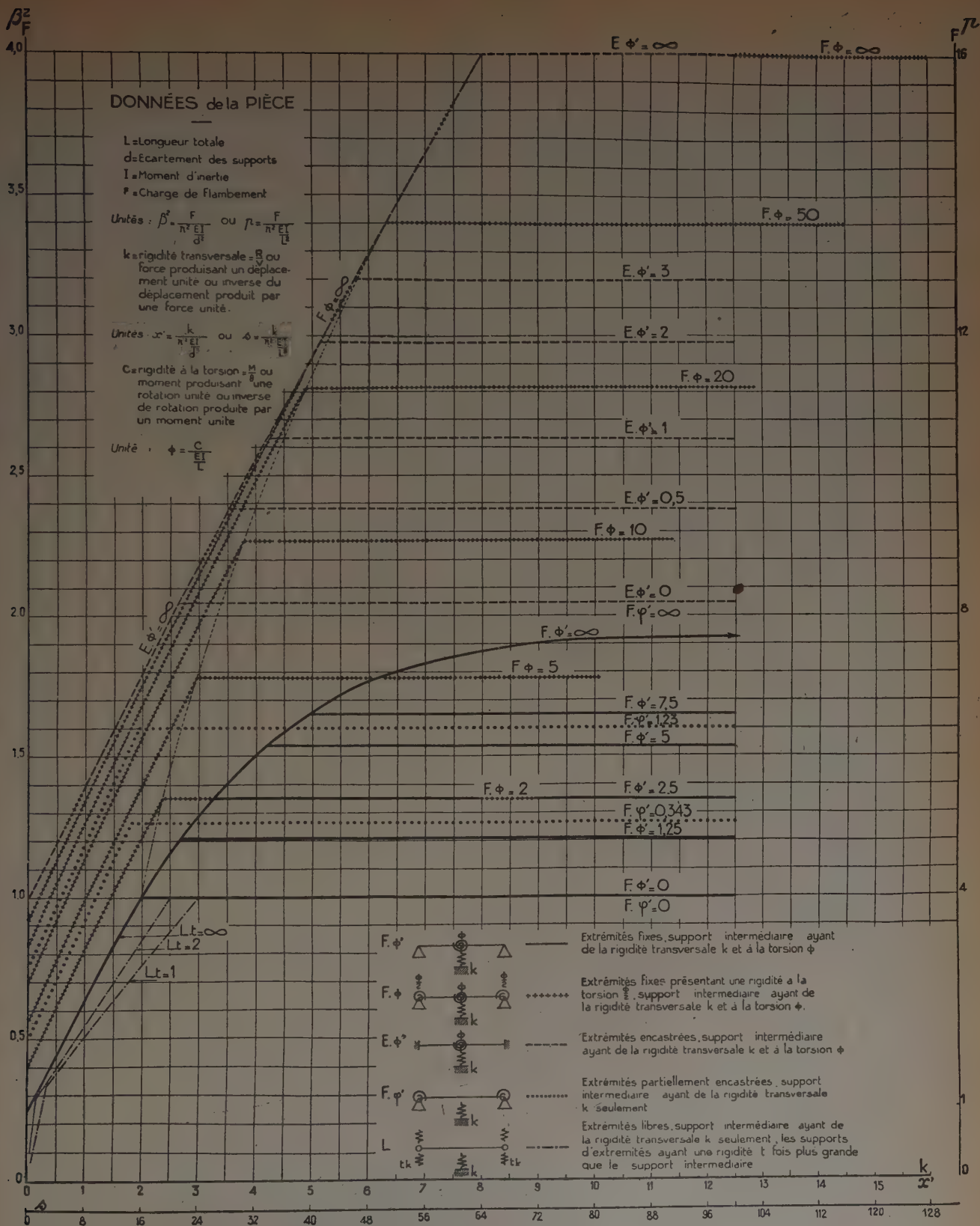


FIG. 4.



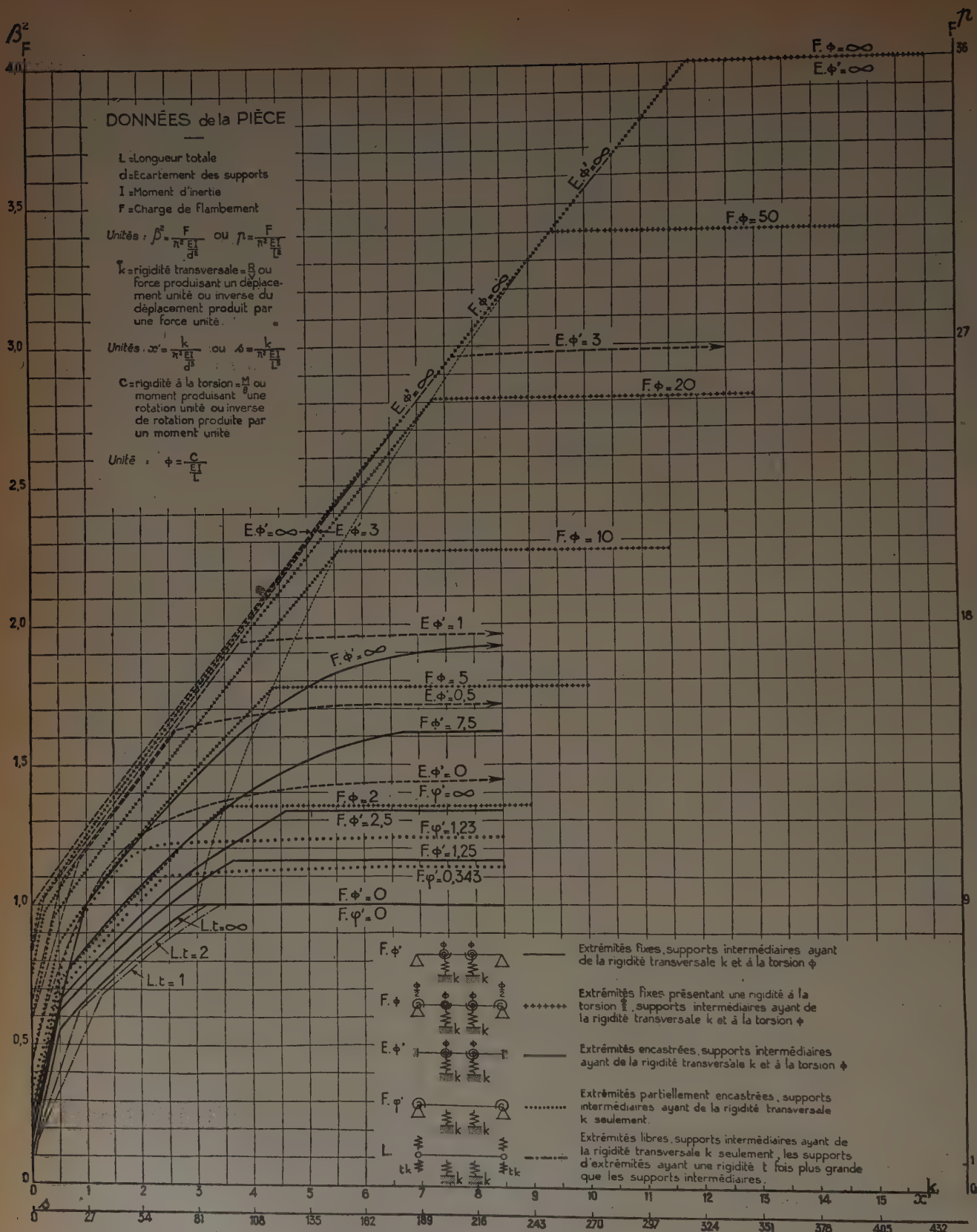
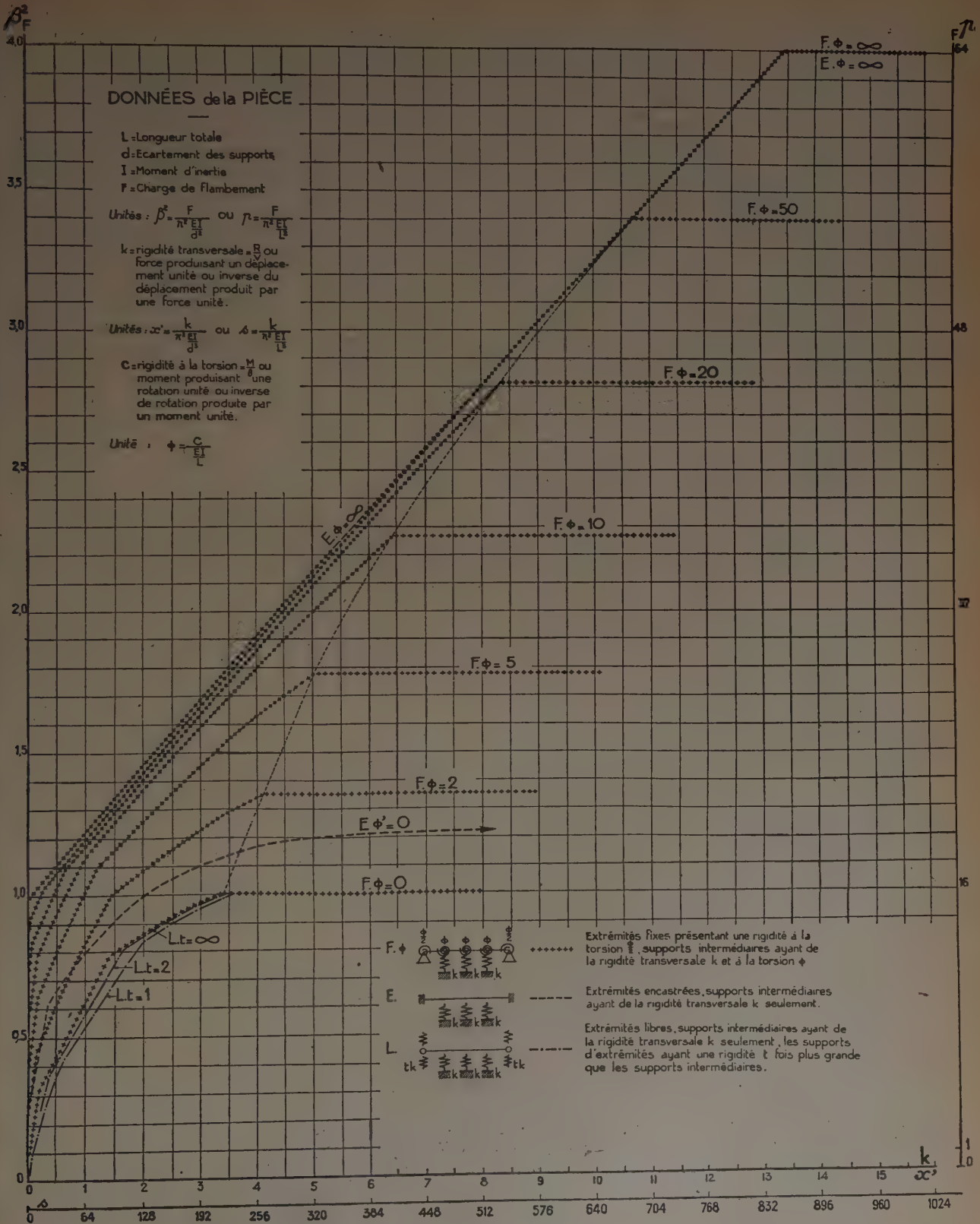


FIG. 6. — Deux supports.



se présenter dans la pratique. J'y ai ajouté mes propres recherches pour les cas des extrémités libres de se déplacer ($L.t = 1$; $L.t = 2$).

Je m'excuse des erreurs que j'aurais pu commettre en transposant des courbes tracées avec des unités et des échelles différentes.

En comparant ces figures on voit combien l'effet d'un encastrement des extrémités diminue vite quand le nombre de supports augmente.

La figure 9 récapitulative est intéressante. On voit combien s'atténue vite l'effet de l'augmentation du nombre de supports. Les auteurs de la *Notice Naca 1519* n'ont pas semblé remarquer qu'à partir du moment où la rigidité transversale n'intervient plus, toutes les courbes sont identiques pour une même valeur de la rigidité de torsion; c'était cependant évident puisque la tige flambant alors entre nœuds le nombre de supports n'intervient plus.

VI. — DEUXIÈME EXTENSION.

DOMAINE INÉLASTIQUE

J'ai précisé plus haut avoir pris des tiges de très grand élanement afin d'être certainement en domaine élastique.

J'ai recherché les expériences qui auraient pu avoir lieu sur le sujet dans le domaine inélastique : je n'en ai pas trouvées. Et ce matin même, j'ai reçu, par avion, une lettre de M. KLEMPERER, dans laquelle il me confirme que d'après les recherches qu'il vient de faire, à ma demande, aux États-Unis, le sujet ne semble pas avoir été expérimenté.

Dans ces conditions, en l'absence d'expériences spéciales, on ne peut s'en tenir qu'aux méthodes de calcul usuelles dans le domaine inélastique. C'est-à-dire que s'il s'agit de vérifier un projet — c'est le cas général — en s'assurant qu'une partie de la construction ne peut pas flamber, il suffit d'appliquer la méthode qui me paraît la plus commode : celle qui est donnée, en premier, par les Commentaires du Règlement de 1927 sur la Construction des Ponts Métalliques, et où trois cas sont successivement distingués suivant les valeurs du taux de travail.

Si, par contre, on désire connaître la valeur exacte qu'atteindra la charge de flambement en milieu inélastique, on applique l'une ou l'autre des deux méthodes qui sont en usage : soit celle de BARRÉ de SAINT-VENANT, CONSIDÈRE, ENGESSER, soit celle de VON KÁRMÁN. On remplace le module d'élasticité, soit par la pente de la tangente à la courbe déformations-efforts, soit par une combinaison de cette pente et du module d'élasticité; dans un cas c'est la méthode du « module de la tangente », dans l'autre celle des « doubles modules » ou du « module réduit ».

Ces méthodes donnent des résultats peu différents pour l'acier de construction, et il ressort d'expériences américaines récentes, extrêmement précises, que les points expérimentaux sont compris entre les deux résultats, quoique

plus près de la valeur théorique la plus faible. De grandes discussions ont eu lieu et ont encore lieu aux États-Unis pour savoir quelle est la meilleure de ces méthodes; pour ma part, elles me paraissent équivalentes et je n'insisterai pas sur ce sujet.

VII. — TROISIÈME EXTENSION.

CAS DES MEMBRURES DE PONTS

Le cas des ponts est très différent théoriquement du cas simple traité jusqu'ici, puisqu'à chaque panneau, le moment d'inertie, l'effort de compression et la rigidité transversale des nœuds, varient.

A) Il existe une méthode générale permettant de résoudre tous les cas, c'est celle qu'a donnée ZIMMERMANN⁽¹⁾ dès 1909; elle utilise des déterminants. M. KRISO a consacré plusieurs études, à la simplification du calcul de ces déterminants; il est arrivé à une méthode relativement simple, mais qui ne peut s'appliquer qu'à un calcul numérique sur les données chiffrées relatives à un cas particulier entièrement déterminé, sans qu'il soit possible d'en déduire les lois générales désirables.

B) Comme méthode plus pratique, mais qui ne s'adresse, elle aussi, qu'à un cas particularisé, il y a celle de M. KEELHOFF utilisant la statique graphique. Les Belges, d'après les livres de M. MAGNEL, paraissent l'appliquer effectivement. Dans l'article que je vous citais, M. BAZANT en a donné récemment une transposition analytique. La méthode est encore compliquée.

C) M. KRISO a recherché une méthode plus pratique basée sur l'hypothèse simplificatrice d'après laquelle les supports auraient tous la même rigidité transversale. Il continue à supposer les efforts de compression et les moments d'inertie variables d'un panneau à l'autre; mais il s'est donné une loi de variation à priori, correspondant à un certain nombre de cas rencontrés dans la pratique de la construction des Ponts. Par le calcul de déterminants il a résolu numériquement un nombre considérable de cas et a réussi à donner, en 1935, à défaut de formules générales, les courbes dont je vais vous entretenir maintenant. Je les ai transposées dans mon système de coordonnées (x' et β^2) et il a pu en résulter quelques erreurs. En effet l'une de ses coordonnées est $\frac{I}{\sqrt{F}}$, au lieu

de F , il s'ensuit que les faibles valeurs de la charge de flambement occupent une très grande place sur ses graphiques, tandis que les grandes valeurs sont très raccourcies, d'où difficulté de lecture et de transposition.

La figure 10 vous montre d'abord les trois graphiques figurant dans l'article de M. KRISO, transposés. Dans les deux premiers les supports extrêmes ont la même rigidité que les supports intermédiaires : ceci se rapproche du cas, que j'ai traité, des extrémités libres ayant même rigidité que les supports intermédiaires ($t = 1$) (mais avec moment d'inertie et efforts de compression constant

(1) ZIMMERMANN était un ingénieur de la Construction Navale.

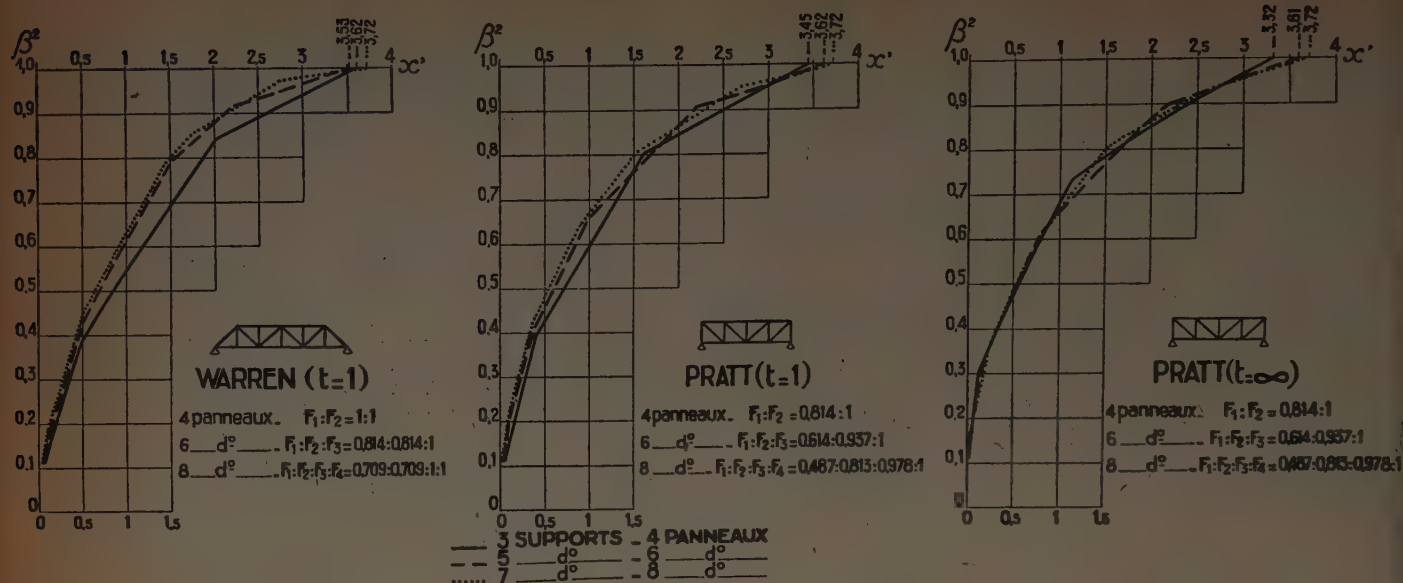


FIG. 10. — Résultats de M. Kriso.

d'un bout à l'autre de la tige). Dans le troisième les supports extrêmes ont une rigidité infinie ($t = \infty$); on se rapproche du cas des extrémités articulées faisant l'objet des expériences relatées plus avant. Les valeurs des charges sont rapportées à celle des panneaux centraux. Le premier graphique suppose une répartition des efforts de compression correspondant au cas de la charge d'une poutre WARREN de 4, 6 et 8 panneaux, soit 3, 5 et 7 supports intermédiaires. Les deuxième et troisième graphiques correspondent au cas de la charge d'une poutre PRATT, leur comparaison permet de juger de l'influence de la rigidité des supports extrêmes.

M. KRISO semble avoir été un peu dérouté par les résultats obtenus pour les grandes valeurs de la charge de flambement, où les courbes se coupent sans qu'on puisse trouver une explication. Il insiste sur les décalages des courbes des deux premiers graphiques et sur la presque superposition des courbes du troisième; il sait qu'avec des panneaux identiques les courbes seraient théoriquement confondues dans ce dernier cas.

Sur la figure II j'ai comparé pour un même nombre de supports les résultats des différentes hypothèses de M. KRISO. J'y ai fait figurer les courbes correspondant à la théorie simplifiée (moment d'inertie et effort de com-

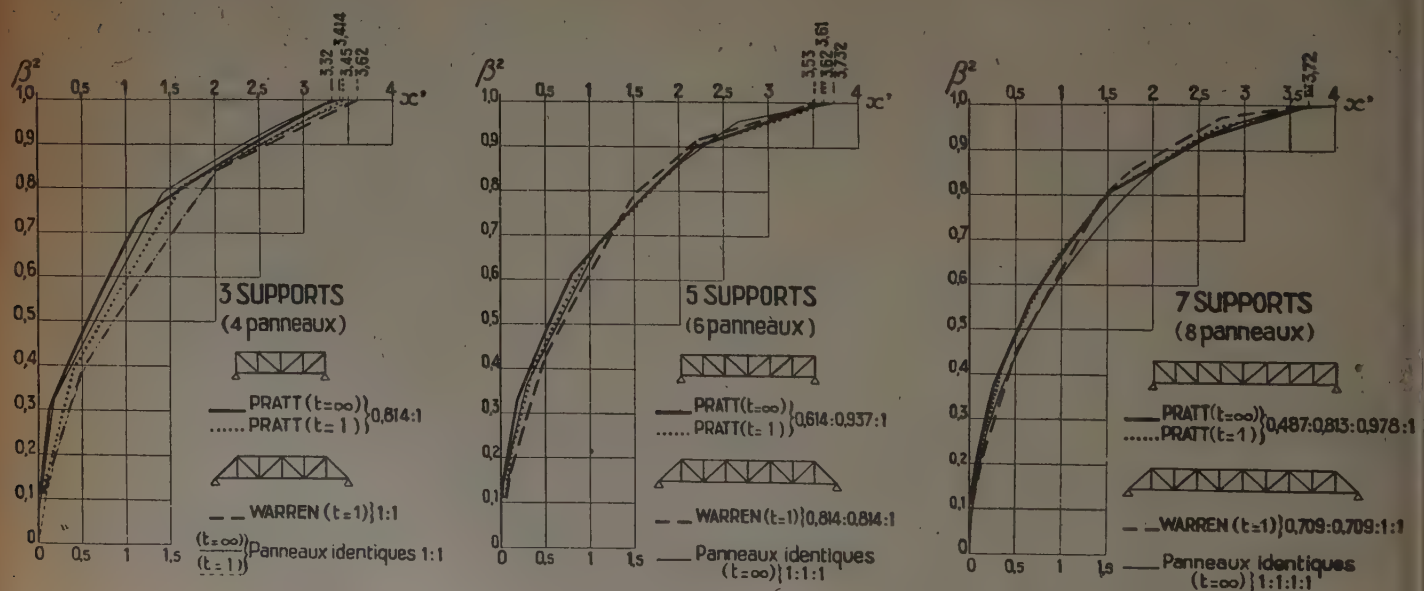


FIG. 11. — Comparaison entre les différentes hypothèses de M. Kriso.

pression constants). Comme l'on devait s'y attendre à priori les courbes de M. KRISO sont au-dessus et à gauche des miennes, tout au moins tant que la charge de flambement n'est pas trop grande (alors les anomalies signalées à l'alinéa précédent interviennent), mais je tiens à faire remarquer que les différences sont faibles et qu'elles ne paraissent dépasser nulle part 10 %.

Et j'arrive ainsi à une conclusion opposée à celle de M. KRISO. Celui-ci a, en somme, été découragé par les résultats auxquels il a abouti et il en a conclu qu'il était impossible de donner des règles générales et qu'il fallait calculer chaque fois chaque cas particulier. Il me semble au contraire que la théorie simplifiée peut donner une excellente approximation ne différant pas de plus de quelques % du résultat exact. C'est la raison pour laquelle il me paraît, en pratique, suffisant de s'en tenir à la théorie simplifiée, qui donne un résultat dans le sens de la sécurité.

D) M. KRISO expose encore une autre méthode approchée, sur laquelle je ne puis m'étendre, mais qui ne me paraît pas de nature à modifier la conclusion ci-dessus.

E) Ceci dit il reste à confronter la théorie simplifiée à un cas concret où la rigidité transversale varie d'un support à l'autre. J'ai pris pour exemple le cas traité par M. BAZANT. Il s'agit d'une poutre PRATT dans laquelle le montant central est extrêmement faible, et par conséquent la rigidité transversale du nœud médian presque négligeable. Nous ne construirions pas, à la S. N. C. F., de pont aussi faible.

J'ai d'abord fait le calcul simplifié en prenant pour rigidité unique la rigidité très faible de ce nœud médian. L'abaque m'a donné une charge de flambement de 150 t. L'effort de compression étant de 90 t, la marge de sécurité serait trop faible, on aurait renforcé ce pont.

J'ai ensuite repris le calcul simplifié en prenant pour rigidité unique une rigidité un peu plus élevée, se rapprochant de celle du nœud voisin (on sait que dans les ponts la rigidité des nœuds décroît des extrémités vers l'axe médian). La charge de flambement est immédiatement remontée à 250 t⁽¹⁾; le pont est suffisant. Le calcul complet de BAZANT indique que ce pont pourrait travailler, sans flamber, jusqu'à 19,18 kg/mm² dans le deuxième panneau, alors que le taux de travail en service n'est que de 6,5 kg/mm².

On doit en conclure que la théorie simplifiée est amplement suffisante, à condition de prendre pour la rigidité transversale des nœuds une valeur convenablement choisie, en tout cas supérieure à celle du nœud médian.

F) Un dernier argument, extrêmement important, milite en faveur de cette façon d'opérer. Je vais vous montrer (fig. 12) le dernier graphique figurant dans l'article de KLEMPERER et GIBBONS, et qui traite du cas d'une tige d'inertie constante, soumise à un effort de compression constant, sur trois supports de rigidités différentes. Les supports extérieurs ont la même rigidité représentée

en ordonnée; celle du support médian figure en abscisse. Les courbes correspondent aux différentes charges de flambement possibles. Considérons la bissectrice: elle correspond à la théorie simplifiée puisque les supports ont la même rigidité. La toute petite zone près de l'origine correspond au flambement en une onde; la gradation des valeurs de p est très rapide. La zone suivante correspond au flambement en deux ondes, la dernière au flambement en trois ondes, avec grand intervalle entre les courbes.

Les courbes sont des hyperboles dans la partie gauche du graphique, prolongées par des droites. La courbe limite des segments de droites est ce que j'ai appelé: « la limite de la zone économique ». Il est, en effet, facile de voir qu'il y a toujours intérêt à se placer, si on le peut, sur cette limite, puisqu'en se déplaçant vers la droite on n'augmente pas la charge de flambement en augmentant la rigidité du support médian.

Ceci est particulièrement intéressant dans la zone de flambement en deux ondes. La limite de la zone économique est à gauche de la bissectrice, ce qui veut dire qu'on peut baisser la rigidité du support médian bien au-dessous de celle des supports aux quarts, sans diminuer la charge de flambement, le support médian restant toujours immobile. Or le flambement en deux ondes correspond généralement au cas des membrures comprimées des ponts (il en était ainsi dans l'exemple de BAZANT). Ceci justifie donc l'élimination de la valeur de la rigidité du nœud médian dans le calcul que je propose par la théorie simplifiée.

G) Il me reste à souhaiter que des calculs identiques à ceux de KLEMPERER et GIBBONS soient faits pour les cas de 7 et 9 supports, les plus intéressants pour la construction des Ponts. On pourrait en déduire les économies réalisables sur les nœuds intermédiaires. J'essaierai de me livrer à ces calculs si j'en ai le temps quelque jour; je serais très heureux de l'aide que pourrait m'apporter toute personne intéressée par ce problème.

VIII. — ÉBAUCHE D'UNE GÉNÉRALISATION DE LA NOTION DE RIGIDITÉ TRANSVERSALE D'UNE TIGE

A) L'expression (A) est encore valable quand la tige ne peut flamber et est simplement soumise à un effort de compression F inférieur à la charge d'EULER. K (valeur négative) représente alors le coefficient de ressort de la tige, c'est-à-dire, le rapport constant qui existe entre la résistance qu'oppose un point de la tige à une déformation transversale et cette déformation. K dépend du nombre d'ondes de la déformation envisagée et du nombre de points en lesquels on voudrait l'appliquer.

K exprime, sous une certaine forme, l'énergie de déformation interne de la tige.

On peut encore étendre la notion quand, au lieu de comprimer, on exerce une traction sur la tige. Il suffit de remplacer dans l'expression (A) les fonctions trigonométriques dépendant de F par les fonctions hyperboliques

(¹) Pour les très faibles valeurs de la rigidité des supports, la charge de flambement augmente très vite, du fait de l'inclinaison prononcée des courbes.

TROIS SUPPORTS INÉGALEMENT RÉSISTANTS

Courbes donnant les valeurs de $p = \frac{F}{\pi^2 \frac{EI}{L^2}}$ en fonction de :

- k_1 = rigidité transversale des supports extérieurs (aux quarts);
- k_2 = rigidité transversale du support médian;
- L = longueur totale;
- d = écartement entre supports;
- I = moment d'inertie dans le plan du flambement;
- F = charge de flambement.

Unités :

$$x'_1 \text{ ou } x'_2 = \frac{k_1 \text{ ou } k_2}{\pi^2 \frac{EI}{d^3}} ; s_1 \text{ ou } s_2 = \frac{k_1 \text{ ou } k_2}{\pi^2 \frac{EI}{L^3}}$$

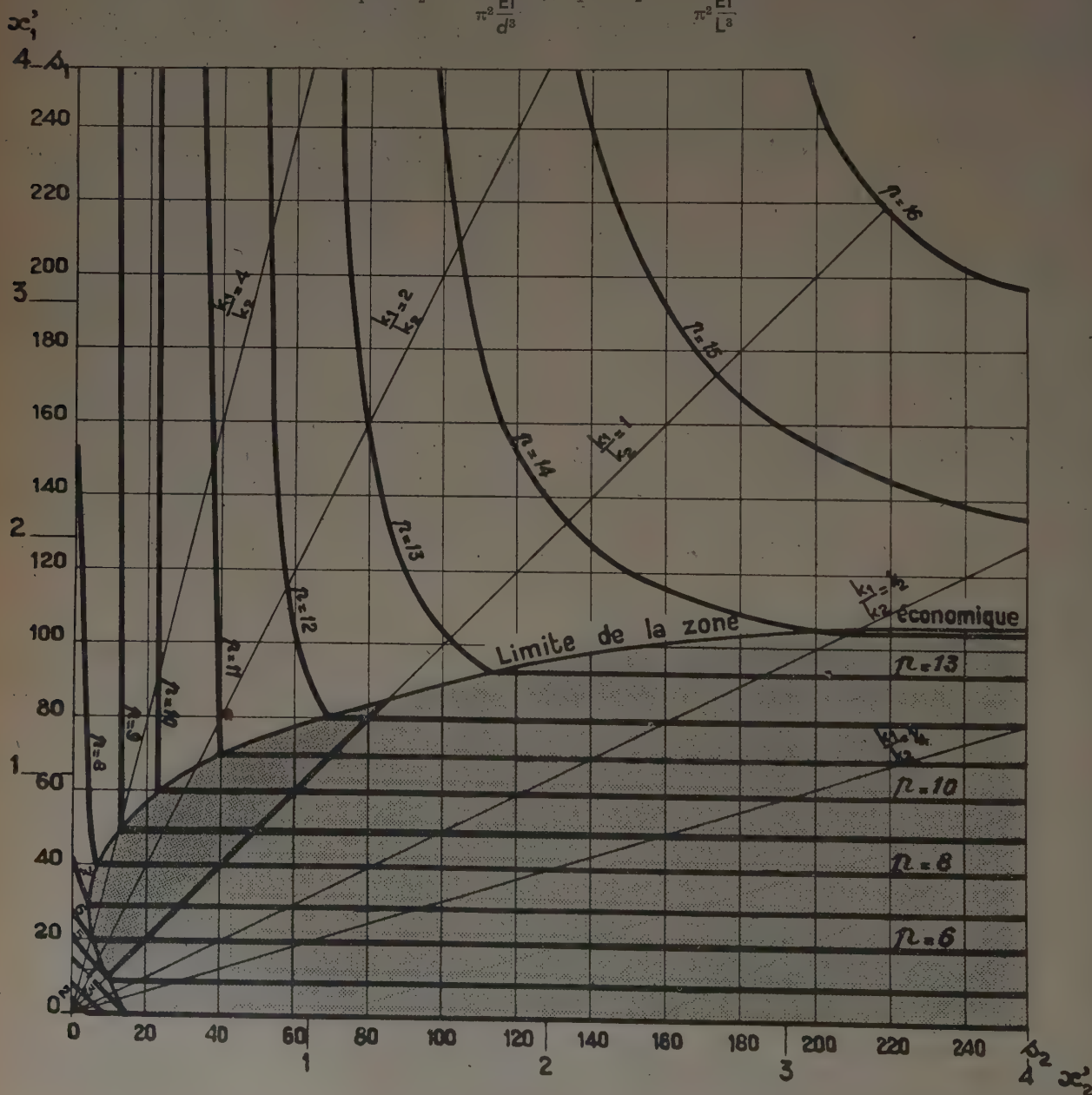


FIG. 12.

correspondantes (M. CHAMBAUD l'a montré en détail dans un de ses articles paru dans la revue *Travaux*).

J'ai calculé toutes les extensions des expressions (A) pour les valeurs (positives ou négatives) de F , inférieures à la charge d'EULER. Je les ai figurées aux graphiques 13 et 14 établis dans le système de coordonnées de KLEMPERER et GIBBONS et dans le mien. Le quadrant de droite de chaque graphique reproduit les figures 2 et 3 respectivement; les courbes y limitent une portion de surface, la tige étant en équilibre stable tant que la charge de compression n'atteint pas la limite de flambement. La partie gauche, au contraire, contient des lignes, qui donnent la relation entre l'effort F et la rigidité K d'un cas déterminé.

B) On voit que les courbes transcendantes correspondant à l'expression (A) et à l'expression corrigée en traction sont voisines de droites; et ceci d'autant plus que le nombre d'ondes de la déformée est faible.

Si on appelle K_0 la valeur correspondant à un effort nul (dans certains cas simples K_0 sera au signe près l'inverse de la flèche sous charge unité au droit des points considérés) et F_c la charge critique de flambement de la tige (charge d'EULER) on voit qu'on peut écrire l'approximation

$$(1) \quad \frac{K}{K_0} \cong 1 - \frac{F}{F_c}$$

où F est positif s'il s'agit d'une compression, et négatif

pour une traction. La valeur nulle de K correspond au flambement. Les valeurs de K positives correspondent au flambement de la tige sur supports élastiques (cas traité dans les premières parties de cet exposé).

L'approximation (1) paraît valable quel que soit le cas d'appuis considéré; elle n'est pas limitée au cas d'une tige articulée à ses deux extrémités. Je propose même de la substituer aux formules données par M. KEELHOFF pour calculer le K d'une diagonale d'un pont (comprimée ou tendue); formules que j'ai rappelées dans mon article de 1946 et que M. BAZANT reprend et redémontre dans son article précité. L'écart entre (1) et les formules de KEELHOFF (approximatives elles aussi, d'ailleurs) est, à mon avis, négligeable en pratique.

C) Je vais maintenant vous entretenir des applications que j'ai tirées de l'extension de cette notion pour expliquer les particularités d'expériences américaines dont j'ai eu connaissance.

Je commencerai par l'application de la règle d'addition des rigidités transversales, au cas expérimenté par M. BOGERT. Il s'agit d'un équipage constitué par deux tiges verticales d'inerties différentes, reliées par une lierne horizontale, chargées par une force verticale F pouvant se déplacer au-dessus de l'équipage (jusqu'à donner si nécessaire des tractions dans l'une des tiges). Une charge transversale R appliquée à l'une des tiges provoque une déformation initiale. L'expérience a consisté à déterminer la variation en fonction de F de la flèche prise par l'équipage.

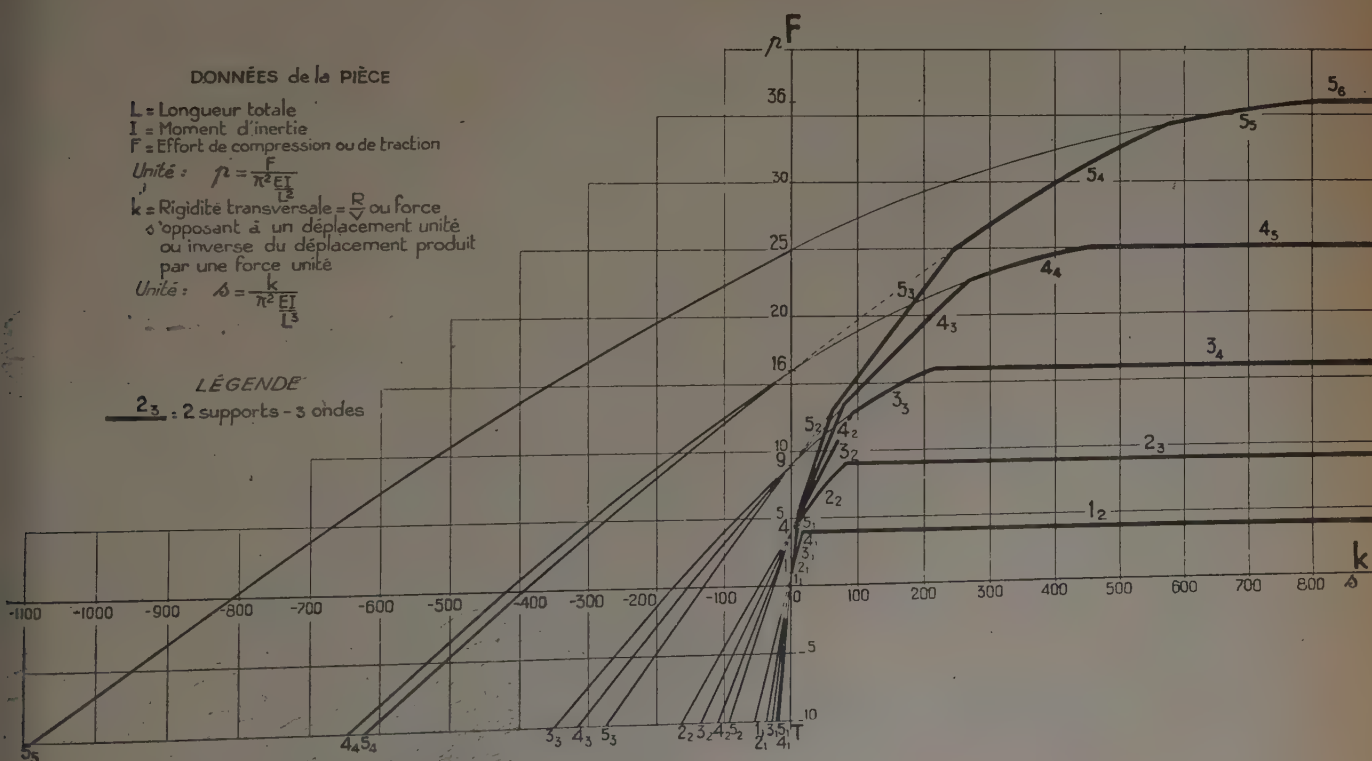


FIG. 13.

$$\beta^2 = \frac{F}{\pi^2 EI} d^2$$

DONNÉES de la PIÈCE

d = Ecartement des supports

I = Moment d'inertie

F = Effort de compression ou de traction

Unité : $\beta^2 = \frac{F}{\pi^2 EI} d^2$

k = Rigidité transversale = $\frac{R}{d}$ ou force s'opposant à un déplacement unité ou inverse du déplacement produit par une force unité.

Unité : $\alpha^2 = \frac{k}{\pi^2 EI} d^3$

LÉGENDE

4₃ : 4 supports - 3 ondes

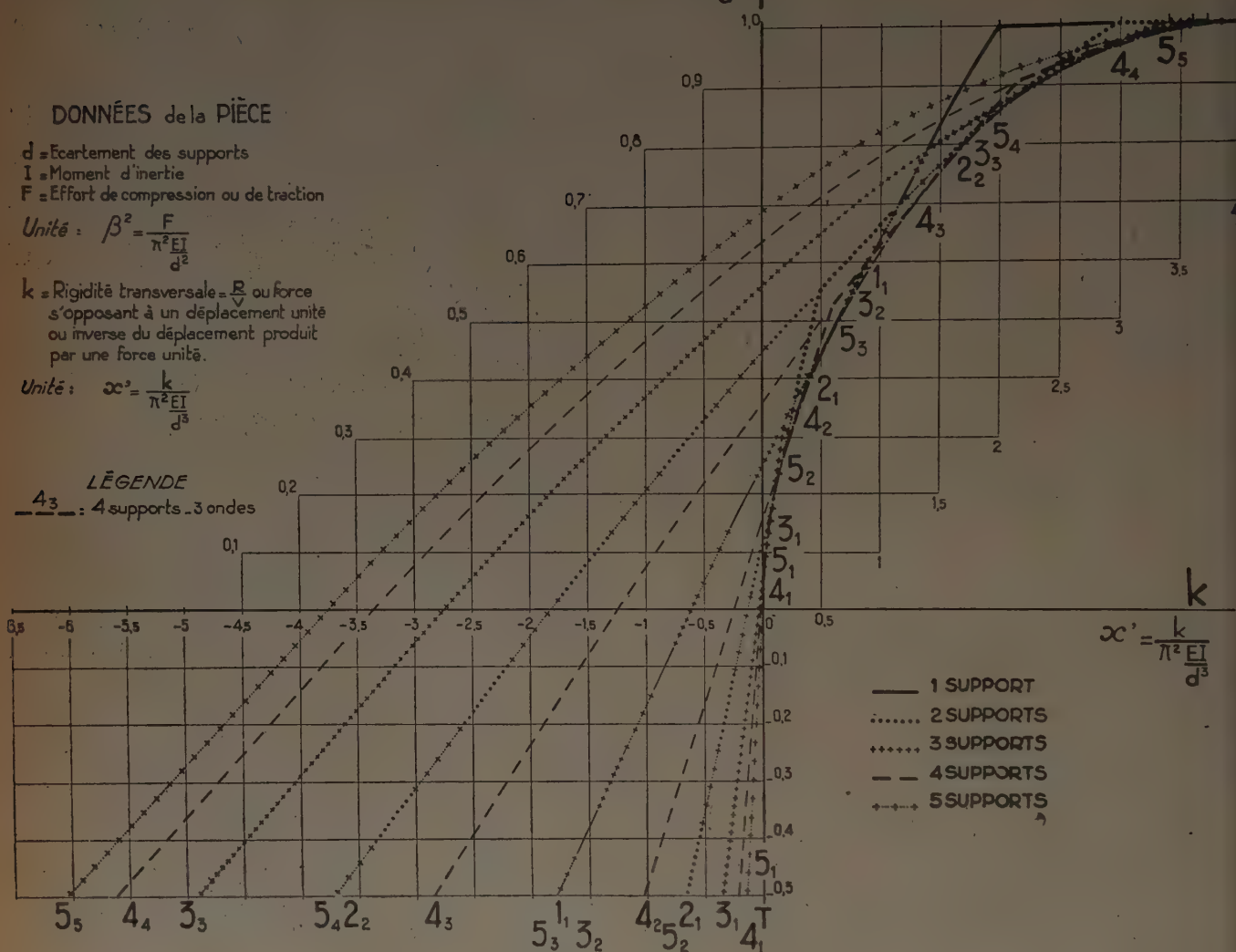


FIG. 14.

Considérons le calcul figurant à gauche de la figure 15. On voit que l'équipage se comporte comme une tige unique présentant sous F une rigidité K , somme des rigidités élémentaires K_1 et K_2 de chacune des tiges sous les efforts respectifs F_1 et F_2 . C'est ce que j'appelle la règle d'addition des K ⁽¹⁾. Elle est plus générale, semble-t-il, que la règle, couramment admise dans ce cas, de l'addition des moments d'inertie. Appliquée au calcul des Bow-Strings ou des ponts suspendus, elle donnera peut-être des résultats nouveaux.

Quoi qu'il en soit, je vais montrer que le moment d'inertie de l'équipage n'est pas constant quand F se déplace et qu'il n'est pas rigoureusement égal à la somme

des moments d'inertie des tiges. Pour cela je vais montrer que la charge de flambement de l'équipage n'est pas constante quand F se déplace et qu'elle n'est pas rigoureusement égale à la somme des charges de flambement de chacune des tiges f_1 et f_2 . La constance et la sommation rigoureuse ne seraient exactes que si les courbes (K, F) étaient rigoureusement droites.

Un raisonnement très simple, sur lequel je n'insisterai pas, montre que pour déterminer la charge de flambement de l'équipage, correspondant à la valeur nulle de K ⁽¹⁾,

⁽¹⁾ L'une des tiges fait office de support élastique pour la seconde dont elle retarde le flambement ; au contraire la seconde tend à accélérer le flambement de la première qui se détend comme un ressort. K_1 et K_2 sont de signes opposés. L'équipage flambe quand K_1 et K_2 ont des valeurs absolues égales.

⁽¹⁾ Elle figure explicitement dans l'article de MM. SCHWARTZ et BOGERT.

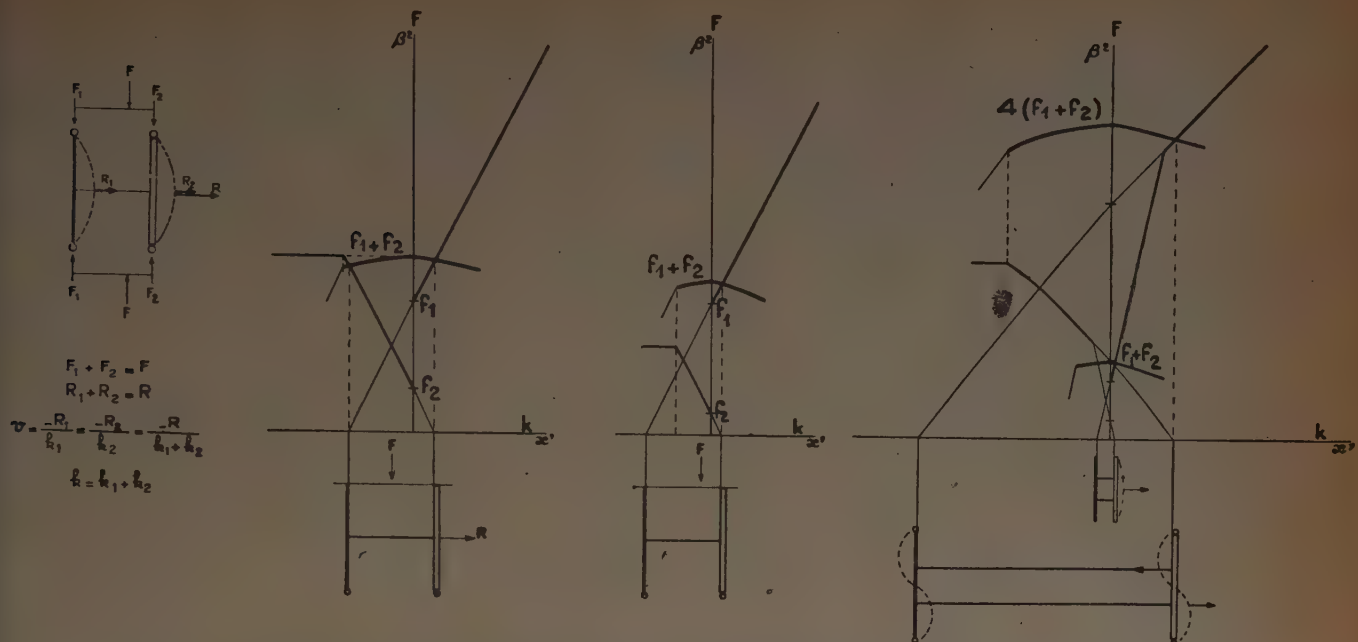


FIG. 15. — Règle d'addition des rigidités transversales. Expériences de M. Bogert.
Valeurs de la charge de flambement.

il suffit, comme cela est représenté sur les graphiques de la figure 15, d'additionner les ordonnées des courbes (K, F) de chacune des tiges de l'équipage, l'une de ces courbes étant retournée par rapport à l'autre et convenablement réduite dans le rapport des moments d'inertie. La charge de flambement est représentée par une courbe convexe vers le haut non symétrique : ce serait rigoureusement une horizontale si les courbes (K, F) étaient des droites. Quand l'une des courbes (K, F) coupe l'axe des abscisses cela veut dire que la tige correspondante est déchargée, c'est-à-dire que F est entièrement à l'aplomb de l'autre. D'où les schémas du dessous des graphiques, qui expliquent la position variable de F.

La charge de flambement de l'équipage n'est rigoureusement égale à la somme des charges de flambement des tiges qu'au point correspondant à l'axe des ordonnées ; il est facile de voir qu'alors F coïncide avec le centre de gravité des inerties, c'est-à-dire avec l'axe neutre de l'équipage.

Le raisonnement n'est d'ailleurs valable qu'autant qu'une des tiges ne flambe pas seule. Cela peut arriver quand une des inerties est très faible par rapport à l'autre ; le phénomène a été constaté expérimentalement, il est mis en évidence dans le deuxième graphique.

Le troisième graphique s'applique au cas, non expérimenté, d'un équipage, lié par deux liernes, auquel on appliquerait deux charges transversales initiales. Le flambement est possible de deux manières. Dans chaque cas les considérations précédentes s'appliquent. Les schémas du dessous indiquent la position de F ; ils ne sont évidemment pas à la même échelle.

Tant qu'une des tiges ne flambe pas individuellement,

rien ne distingue un quelconque de ces équipages d'une poutre quelconque, pleine ou à treillis, laminée ou chaudière, les points homologues des membrures ayant rigoureusement la même flèche. Donc la charge de flambement d'une poutre dépend de la position de la charge par rapport à l'axe neutre. J'avais cru pouvoir, ainsi, expliquer la loi de la variation de la charge de flambement en fonction de l'excentricité donnée par les célèbres expériences de M. Roš, mais cet espoir doit être abandonné. Par contre ceci montre bien que le moment d'inertie de la poutre n'est pas rigoureusement la somme des moments d'inertie des deux membrures, il dépend de la position de la charge.

Le fait a été constaté expérimentalement par M. BOGERT qui a constaté des « pertes » de moment d'inertie de plusieurs %.

Malheureusement il n'a pas poussé jusqu'au flambement de l'équipage, il s'est arrêté très légèrement avant.

D) Je poursuis maintenant par l'étude des flèches. La figure 16 explique clairement comment les courbes (K, F) n'étant pas rigoureusement des droites, le rapport $\frac{v_F}{v_i}$ de la flèche v_F sous charge F à la déformation initiale v_i , doit être inférieur à la fonction hyperbolique

$$\frac{1}{1 - \frac{F}{F_c}}$$

et pourquoi les points expérimentaux doivent être au-dessus et à gauche de l'hyperbole équilatère.

Ceci se vérifie systématiquement dans les expériences de BOGERT, tout au moins pour les grandes valeurs de v_F

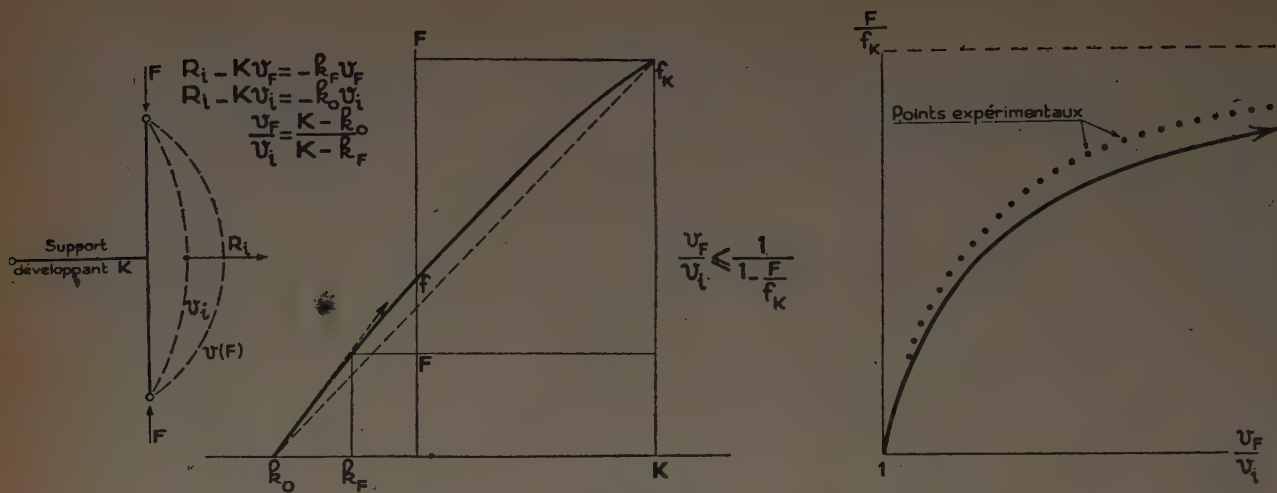


FIG. 16. — Règle des flèches. Expériences de M. Bogert et de MM. Bache et Klemperer.

et de F. Pour les petites valeurs au contraire, systématiquement les points expérimentaux sont à droite de l'hyperbole. C'est cette anomalie qui m'avait incité à chercher à résoudre le problème. Pour les petites valeurs, je pense qu'il existait un défaut de l'appareillage; en effet, même sans déformation initiale, l'équipage prenait de la flèche avant la charge d'EULER.

Les expériences de BACHE et KLEMPERER, dont je vais maintenant vous entretenir, ont également vérifié systématiquement le déplacement des points expérimentaux par rapport à l'hyperbole équilatère. Avec l'appareil de la photo 4, ils ont soumis la tige, supportée élastiquement en son milieu, à des efforts de compression, après lui avoir donné une déformation initiale. La figure 17 donne, en fonction de la rigidité du support, désigné par s , la loi (v, F) . On voit que les flèches expérimentales marquées par des points sont systématiquement supérieures aux valeurs calculées, en tireté (les deux courbes du haut ne sont pas comparables).

La même expérience a été faite avec deux supports. Les auteurs ont donné, en fin d'article, comme rendant bien compte des phénomènes, la loi approximative hyperbolique indiquée à la figure 16. J'ignore s'ils connaissaient ou non la théorie qui permet de l'établir.

E) Je donne maintenant deux graphiques (fig. 18 et 19) qui résument les expériences où BACHE et KLEMPERER ont donné des déformations initiales différentes à chacun des deux supports de leur tige. La figure 18 s'applique aux cas où la rigidité transversale des supports était faible, et où, par conséquent, la tige avait naturellement tendance à flamber en une seule onde; la figure 19 s'applique aux cas inverses, où sous l'action des supports la tige avait tendance à flamber en deux ondes. Dans chaque figure, le faisceau des courbes de droite représente la variation de la flèche d'un des supports pris comme référence, en fonction de la flèche initiale de l'autre support (valeurs du rapport μ , comprises entre + 1 et - 1). Dans la figure 18

quand μ passe de $+1$ à -1 la charge de flambement augmente; la tige qui veut flamber en une onde se défend contre la déformation initiale en S qu'on lui a imposée.

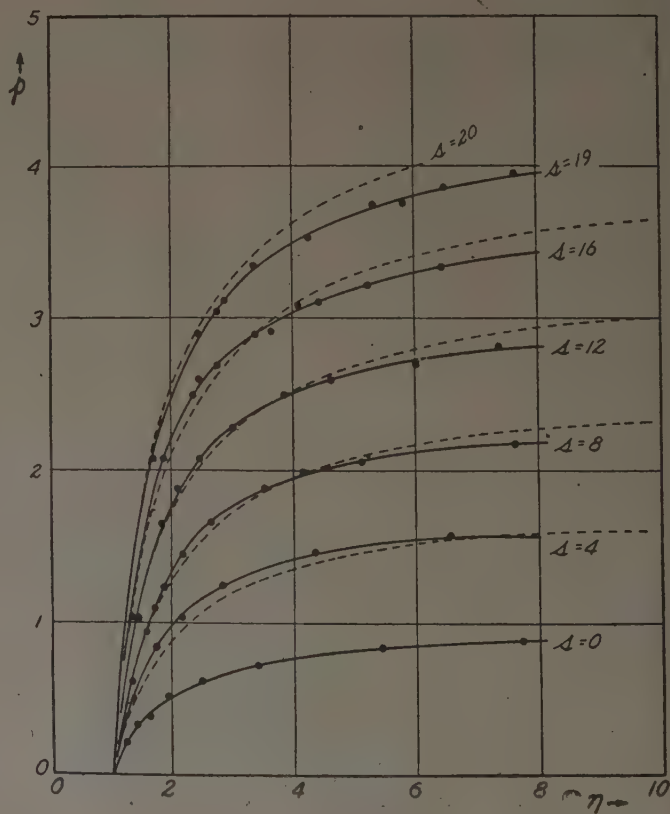


FIG. 17.

Inversement dans la figure 19 elle diminue, puisque la déformation initiale en S va au devant de la tendance à flamber en deux ondes. Dans chaque figure les autres courbes, partant des points échelonnés sur l'axe des μ , indiquent la variation des flèches du deuxième support, en fonction de la charge, et de la déformation initiale. Sur la figure 18 on voit que, pour $\mu = -1$ par exemple, c'est-à-dire déformation initiale en S, la flèche du deuxième support a d'abord augmenté puis brusquement a changé de sens pour rejoindre la flèche du premier support, la tige tendant à flamber en une seule onde.

Tout ceci pourrait se calculer par la théorie de la rigidité-transversale.

L'article de BACHE et KLEMPERER contient encore de nombreux graphiques du type des figures 18 et 19, il ne m'est malheureusement pas possible de les donner tous.

F) Pour terminer, je voudrais vous entretenir très rapidement de la relation qui doit, à mon avis, exister entre la rigidité transversale K et le carré p^2 de la pulsation p de la tige, chargée et déformée dans les mêmes conditions.

Dans son livre, M. MASSONNET s'est efforcé de montrer qu'il existait une relation très générale entre le carré de la pulsation et l'effort de compression d'une tige, quelles que soient les conditions des extrémités, les inerties, etc. Cette relation est approximativement :

$$(2) \quad \frac{p^2}{p_0^2} \approx 1 - \frac{F}{F_c}$$

Elle n'est rigoureuse que quand les extrémités de la tige sont articulées, ou astreintes à se déplacer dans une glissière.

De la comparaison de (1) et de (2) et me basant sur des raisonnements que je ne puis ici expliciter, je pense qu'on peut conclure que, pour une tige, quelles que soient les conditions de charges, de déformation, d'appuis, du nombre de supports, etc..., il existe la relation universelle suivante :

$$(3) \quad K = Mp^2$$

où M désigne la masse de la tige.

Cette relation n'est peut-être qu'approximative dans les cas les plus généraux, mais je ne serais pas étonné qu'elle fût rigoureuse.

Une relation de cet ordre est mise en évidence, explicitement par M. MASSONNET lui-même, quand la tige est

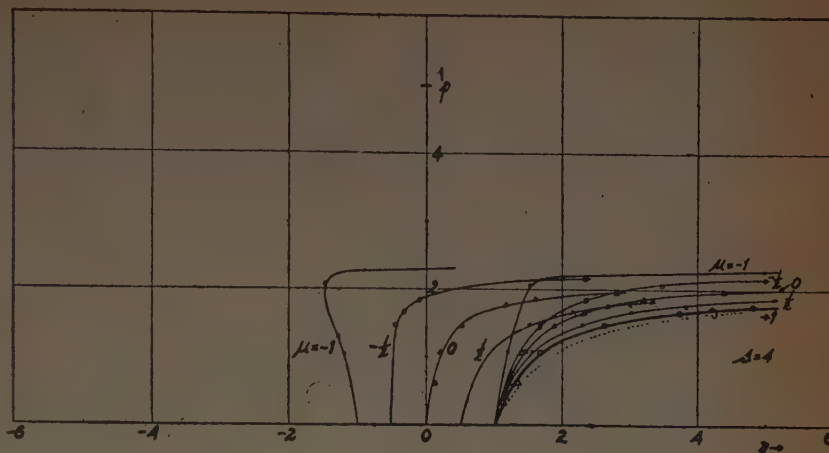


FIG. 18.

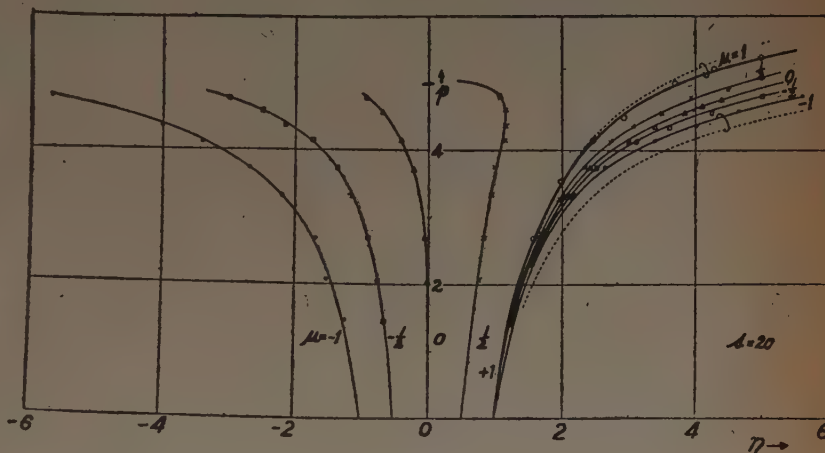


FIG. 19.

plongée dans un milieu résistant élastique continu, et lui sert à transposer très élégamment, dans le cas du milieu résistant, les résultats obtenus pour une tige simplement comprimée. Mais la relation (3) que je suggère est d'une nature différente, puisqu'il s'agit ici pour K , de la rigidité transversale de la tige, telle que j'en ai étendu la notion au début de cette huitième partie.

Je regrette de n'avoir pas connu plus tôt les résultats de MASSONNET qui permettent, entre autres, de déterminer la charge de flambement d'une tige, sans la faire flamber, par l'application de la formule (2) en mesurant deux pulsations seulement.

J'aurais pu très aisément vérifier cette méthode dans mes essais au Laboratoire de la S. N. C. F.

CONCLUSION

Je vous ai donné un aperçu des questions restant à traiter ou à approfondir, j'ai ébauché devant vous une théorie qui paraît susceptible d'autres applications. Il reste encore beaucoup à faire. Quelques-uns d'entre vous ont pu être intéressés par ma conférence; je serais très heureux s'ils voulaient bien se joindre à moi pour former équipe afin d'en terminer avec ces questions. Les calculs sont compliqués, longs, exigent de la méthode; nous ne serons jamais de trop pour les mener à bien. Vous voyez que les Américains travaillent en équipes à ces problèmes. Et si je fais appel à des Français, c'est parce que la France n'a jamais pris une grande part à ces études. Dois-je rappeler que dans la préface de la traduction française de

son livre M. le Professeur TIMOSHENKO s'excusait de ne pouvoir citer de noms français?

Les graphiques que je viens de projeter ont été établis sur calque à une très grande échelle. Je me ferai un plaisir d'adresser des exemplaires des tirages à ceux qui ne pourraient se contenter des réductions qui figurent au présent compte rendu de la conférence.

J'en profite pour adresser mes remerciements à tous ceux de mes collaborateurs qui m'ont apporté leur concours le plus entier pour la préparation de cet exposé.

J'en ai fini et je suis à votre disposition pour répondre aux questions que vous auriez à me poser.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Messieurs, vous avez pu apprécier, outre l'intérêt du sujet, le fait que M. LAZARD était particulièrement qualifié pour le traiter.

Je ne veux pas faire de commentaires, mais je voudrais souligner le fait que le flambement n'est pas étudié parfaitement quand on s'est borné au cas d'une tige libre entre ses extrémités. Le cas le plus fréquent, le plus important est celui qu'a traité M. LAZARD.

Une chose surtout a dû vous frapper, c'est l'importance de la documentation qu'il a rassemblée, inconnue de la plupart d'entre nous. Il y a là un grand nombre d'éléments dont il serait utile de faire la synthèse, synthèse qui n'a

pas été faite jusqu'à présent, tout au moins en France. Elle est en train de se faire en Amérique où une centralisation a été décidée l'année dernière et s'opère entre les mains de M. BLEICH ; mais M. VALLETTE nous a indiqué que M. BLEICH compte terminer cette synthèse dans un délai d'à peu près cinq années. Entre temps, il serait peut-être intéressant qu'en France, on se préoccupe de faire progresser l'étude de cette question.

Ce que je souhaite, c'est que d'abord M. LAZARD ait le temps de poursuivre les études qu'il a entreprises et que ceux qui peuvent apporter leur contribution unissent leurs efforts aux siens.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHE et KLEMPERER, *Journal of the Aeronautical Sciences*, février 1937. L'essentiel de l'article a été analysé au cours de la conférence.
- BAZANT, *Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes*. Volume VII, 1943-1944 (en allemand). L'essentiel de l'article a été analysé au cours de la conférence.
- BLEICH, *Theorie und Berechnung der Eisernen Brücken*, Berlin, 1924 (Springer), pages 187 à 210.
- BUDIANSKY, SEIDE et WEINBERGER, *National Advisory Committee for Aeronautics (N. A. C. A.)*. Note Technique 1519, de Mars 1948. La totalité des résultats figure dans les graphiques 9, 10, 11, 12 et 13.
- KEELHOFF, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1920. Article déjà cité en référence de mon article de 1946.
- KLEMPERER et GIBBONS, *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 1933, page 251. La totalité des résultats a été indiquée au cours de la conférence.
- KRISO, *Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes*, volumes III, VI et VII (en allemand). Une bonne partie de l'article du Volume III a été analysée au cours de la conférence.
- A. LAZARD, *Annales des Ponts et Chaussées*, mars-avril 1946.
- MASSONNET, *Les Relations entre les Modes Normaux de Vibration et la Stabilité des Systèmes élastiques*, Bruxelles, 1940 (Gœmaere). Livre remarquable qui devrait figurer en bonne place dans toutes les bibliothèques.
- SCHWARTZ et BOGERT, *National Advisory Committee for Aeronautics (N. A. C. A.)*. Note Technique 529. Mai 1935. L'essentiel des résultats expérimentaux de M. BOGERT a été analysé au cours de la conférence. Je me suis inspiré d'une partie des calculs de M. SCHWARTZ.
- SHANLEY, Diverses publications relatives au flambement de tiges dans le domaine inélastique dont : *Journal of the Aeronautical Sciences*. Mai 1937, et American Society of Civil Engineers, Session de janvier 1948.
- TIMOSHENKO, *Théorie de la Stabilité élastique*. Paris 1943 (Béranger), pages 96 à 107.
- TU, *Journal of the Aeronautical Sciences*. Janvier 1944. La totalité des résultats figure dans les graphiques 9, 10, 11, 12 et 13.
- ZAHORSKI, *Journal of the Aeronautical Sciences*. Octobre 1944. La presque totalité des résultats figure dans les graphiques 9, 10, 11, 12 et 13.

N. B. — La collection du « *Journal of the Aeronautical Sciences* » peut être consultée à la bibliothèque du Ministère de l'Air, boulevard Victor.

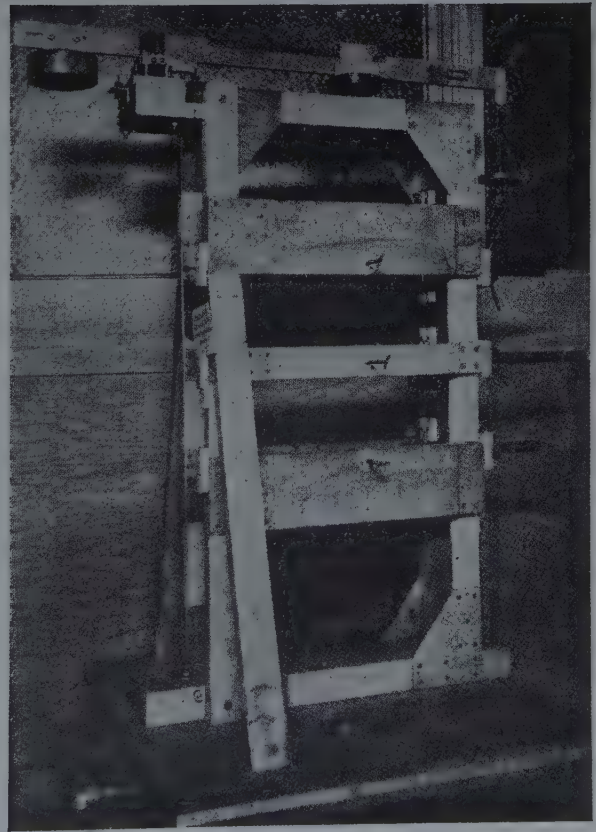
Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.



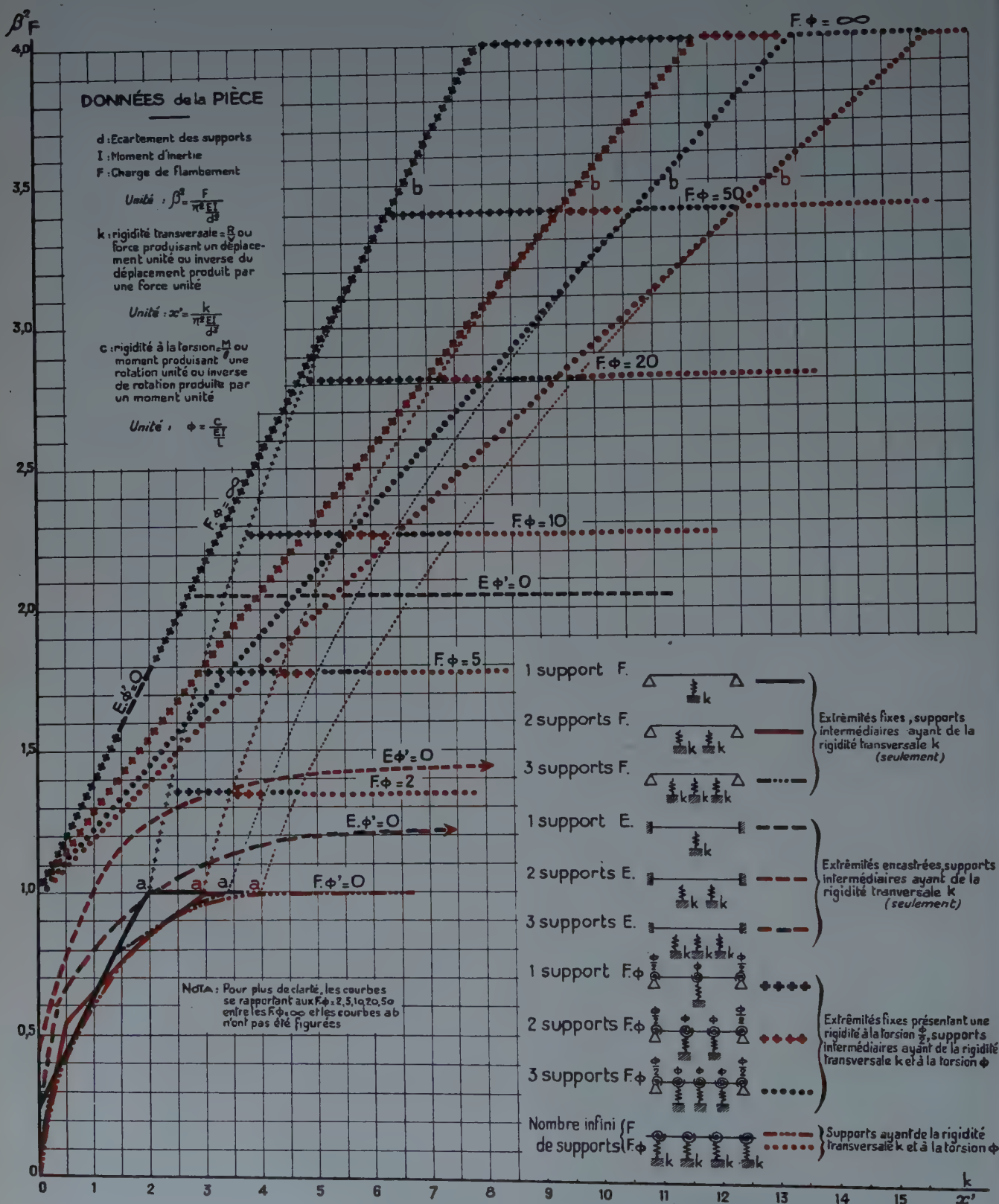
PHOT. 2. — Partie supérieure de la machine d'essais.
Vue de la barre n° 5 flambant en trois demi-ondes.



PHOT. 3. — Vue de la barre n° 6 flambant en deux demi-ondes.



PHOT. 4. — Photographies de l'appareil ayant servi aux essais de MM. Bache et Klemperer.



ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII^e

Septembre 1949

N° 89

Nouvelle série.

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

MANUEL DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE, N° 3

ASSEMBLAGES DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

SOMMAIRE

	Pages.		Pages.
ASSEMBLAGES DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES	3	Aboutement des poteaux.....	22
Introduction.....	3	Pieds et têtes de poteaux.....	23
Types d'assemblages soudés, rivés ou boulonnés.....	3	Nœuds d'ossatures des bâtiments à étages.....	27
Croisement et aboutement des plats et profilés.....	3	Commentaire général sur les assemblages.....	31
Aboutement des poutres à âme pleine.....	4	Principes généraux.....	31
Nœuds des systèmes réticulés.....	5	Comparaison entre les assemblages soudés et les assem- blages rivés ou boulonnés.....	32
Assemblages de poutres à âme pleine.....	14	Assemblage sur chantier.....	32
Assemblages obliques.....	21		

PLAN INITIAL
DU
MANUEL DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

DIVISIONS PRINCIPALES

- | | |
|---|--|
| 0 INTRODUCTION | 5 ASSEMBLAGES DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES |
| 1 MATÉRIAUX DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES | 6 CHARPENTES ET OSSATURES MÉTALLIQUES |
| 2 MÉTAUX OUVRÉS DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES | 7 PONTS MÉTALLIQUES |
| 3 MOYENS D'ASSEMBLAGE DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES | 8 CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES SPÉCIALES |
| 4 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES | 9 NOTES COMPLÉMENTAIRES |
| | ANNEXE I. — EXEMPLES DE CALCULS ET DE PROJETS DE BATIMENTS |
| | ANNEXE II. — RENSEIGNEMENTS PRATIQUES |

RÉSUMÉ

Le présent fascicule a pour but d'exposer le problème des assemblages. Les principes applicables aux différentes catégories d'assemblages sont présentés dans une première partie. Les nombreux exemples qui accompagnent les règles énoncées ont été choisis uniquement dans le but d'illustrer ces règles en vue de leur application, et traitent chaque solution en soudure et en rivure, suivant le principe admis pour la rédaction de l'ensemble du Manuel.

Dans une seconde partie, les principes généraux sur la conception des assemblages sont énumérés. Puis une comparaison systématique est faite entre les solutions soudées et les solutions rivées ou boulonnées d'autre part. Enfin, un aperçu est donné sur les conditions à remplir pour les assemblages sur chantier.

SUMMARY

This third volume aims at presenting the problem of connexions. The first section is concerned with the principles applicable to the different types of connexions. The rules are set forth with numerous examples, which have been chosen expressly to illustrate their application and which follow the principles laid down for the compilation of the handbook in dealing with each case both from the welding and the riveting point of view.

In the second section the general principles of the conception of connexions are enumerated. This is followed by a systematic comparison of welded and riveted or bolted connexions. The volume ends with a note on the requisite conditions for site assembly.

5 - ASSEMBLAGES DANS LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

5,0 INTRODUCTION.

Le présent chapitre est destiné à donner des indications générales et des principes, ainsi qu'un certain nombre d'exemples concernant la conception et le calcul des assemblages.

L'application de ces principes de construction sera traitée d'une manière plus complète dans les parties du Manuel concernant les divers genres de constructions (chap. VI, VII et VIII).

5,1 TYPES D'ASSEMBLAGES SOUDÉS, RIVÉS OU BOULONNÉS.

5,11 CROISEMENT ET ABOUTEMENT DES PLATS ET PROFILÉS. ABOUTEMENT DE POUTRES A AME PLEINE.

5,111 Croisement de plats et profilés (treillis, contreventements, etc.).

Dans le cas où il n'y a pas de transmission d'effort principal par l'assemblage des barres croisées, le rôle de ces assemblages est d'empêcher le déplacement d'une barre par rapport à l'autre et de s'opposer à la formation de la rouille entre les deux pièces. L'ensemble devient ainsi plus rigide.

La longueur de flambement des barres comprimées dans le plan du système réticulé est réduite.

— 0 Exemples :

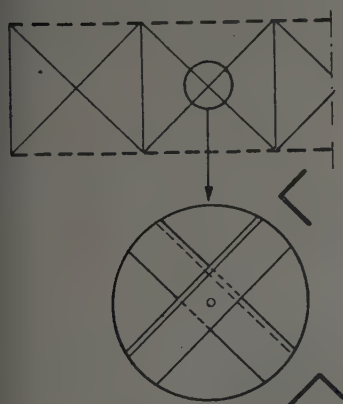


FIG. 1.

— 1 Croisement de deux diagonales de contreventement constituées par une cornière (fig. 1), assemblage par un seul rivet ou boulon.

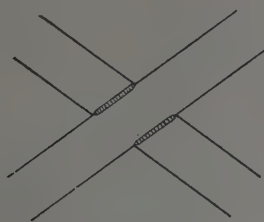


FIG. 4.

5,111 2 Croisement de deux diagonales d'un treillis constituées par des profilés U (fig. 2) :

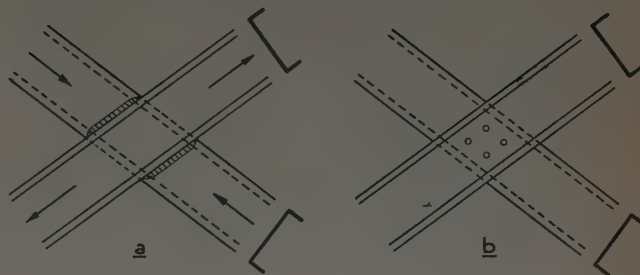


FIG. 2.

— en construction soudée (a);
— en construction rivée (b).

Croisement en construction rivée avec un gousset (fig. 3).

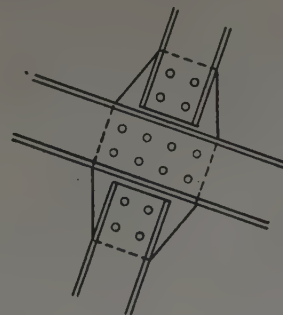


FIG. 3.

— 3 Croisement de deux plats en construction soudée avec un plat interrompu (fig. 4). Les soudures doivent transmettre l'effort intégral.

Solutions en soudé (a) et en rivé (b), avec continuité des deux plats (fig. 5).

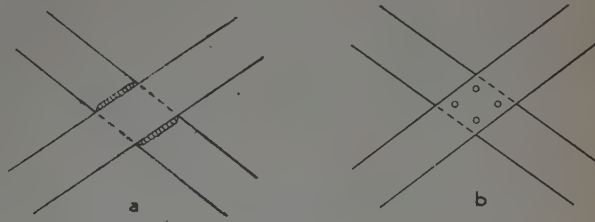


FIG. 5.

5,112 Aboutement de poutres à âme pleine.

L'aboutement des poutres doit en principe être conçu de manière à ce que la section du joint remplace la section courante. Pour les poutres fléchies, on évitera autant que possible de placer les joints aux endroits où le moment de flexion atteint sa valeur maximum. Si le joint est placé dans une zone où la section courante n'est pas complètement utilisée, il est admissible de le calculer pour les efforts effectifs seulement. Toutefois même si dans la section du joint le moment de flexion est nul, l'assemblage ne doit pas être excessivement faible par rapport à la section courante. On peut le dimensionner par exemple pour correspondre à la moitié du moment maximum de la section.

— 1 Aboutement de poutrelles I et H.

— 11 EN CONSTRUCTION SOUDÉE, l'aboutement des profilés en I et H se fait de préférence par soudage bout à bout.

Par application d'une technique appropriée du soudage, on arrive à réduire suffisamment les tensions triaxiales qui sans cela pourraient atteindre dans le cas des fortes épaisseurs une valeur dangereuse, notamment au croisement des cordons de l'âme et de l'aile tendue. Pour cette raison, il est indiqué de prévoir la séparation de ces cordons par interruption des cordons de l'âme à cet endroit.

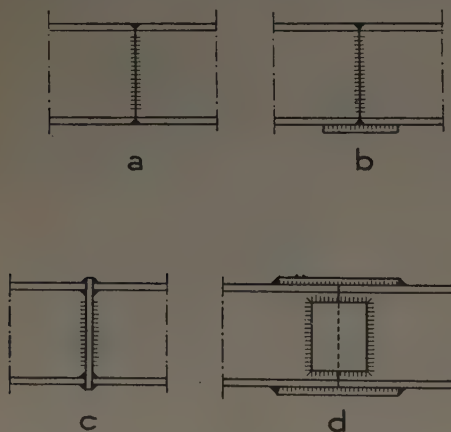


FIG. 6.

La figure 6 indique en dehors du simple soudage bout à bout d'autres types d'aboutements qui sont à rejeter en général. Ces autres types de joints (fig. 6 b, c, d) présentent l'inconvénient d'utiliser les cordons d'angle qui sont moins résistants aux efforts de fatigue et introduisent des tensions multiples. Les types à couvre-joints (fig. 6 b et d) ne sont d'ailleurs qu'une adaptation de joints rivés au soudage et ne correspondent pas aux caractéristiques de ce moyen d'assemblage dont un avantage est justement celui d'éviter l'emploi de pièces intermédiaires de liaison.

— 12 EN CONSTRUCTION RIVÉE. La section nette des couvre-joints doit être égale à la section courante ou correspondre aux efforts effectifs à transmettre.

5,112 121 Pour les profilés en I on applique des couvre-joints sur l'âme et du côté extérieur des ailes, tandis que pour les poutrelles H on peut également appliquer des couvre-joints sur les faces intérieures des ailes (fig. 7).

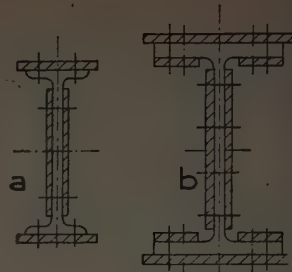


FIG. 7.

— 122 Les dimensions des couvre-joints ainsi que le nombre et la disposition des rivets dépendent du profilé et des efforts à transmettre par les joints. La figure 8 représente quelques formes possibles correspondant à des poutrelles de différentes sections.

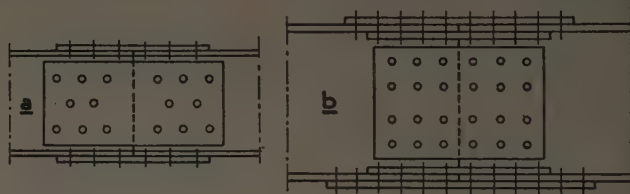


FIG. 8.

— 2 Joints des poutres composées.

— 21 EN CONSTRUCTION SOUDÉE le problème des joints des poutres composées correspond en principe à celui de l'aboutement des poutrelles laminées. Les solutions devront dans chaque cas être adoptées à la forme de la section courante. Le point essentiel est d'éviter autant que possible le croisement des cordons et l'agglomération des soudures qui peuvent donner lieu à des tensions triaxiales dangereuses.

La forme et la disposition de ces joints doivent permettre l'exécution commode du soudage.

— 22 EN CONSTRUCTION RIVÉE il est nécessaire de prévoir des couvre-joints pour toutes les parties constitutives de la poutre et de les attacher de manière à obtenir dans toutes les sections de rupture possible, une sécurité au moins égale à celle de la section la plus sollicitée de la poutre, c'est-à-dire que la sécurité de la section du joint par rapport à la sollicitation calculée de cette section ne doit pas être inférieure au minimum de sécurité existant dans la poutre.

La forme et la disposition de ces joints doivent en outre permettre l'exécution facile de l'assemblage. On doit également tenir compte des conditions spéciales qui pourraient être posées pour l'exécution des assemblages sur chantier et pour le transport.

5,113 L'aboutement des profilés autres que les poutrelles I et H est le problème qui peut surtout se poser pour les barres des systèmes réticulés. Dans ce cas, il n'y a généralement à transmettre qu'un effort axial et éventuellement des efforts secondaires de flexion ou de torsion.

5,113 1 La solution ne présente généralement pas de difficultés. Il s'agit uniquement de remplacer la section interrompue par une pièce de section équivalente et d'attacher celle-ci suffisamment des deux côtés.

— **2** Il est souhaitable d'éviter l'excentricité excessive de la section du joint par rapport à la section courante car cette excentricité donne lieu à une flexion supplémentaire. Si l'excentricité est importante, on calculera la section en tenant compte des efforts supplémentaires qui en résultent.

5,12 NŒUDS DES SYSTÈMES RÉTICULÉS

5,121 Principes généraux.

— **1** Les lignes des centres de gravité de toutes les barres doivent se trouver dans un même plan, qui doit être un plan de symétrie par rapport à tous les efforts principaux.

Cette condition est presque toujours remplie, sauf dans certains treillis secondaires (contreventements, etc.), du genre indiqué dans la figure 9. Dans ce dernier cas, la transmission des efforts sera considérée pour le calcul, comme se faisant dans le plan de contact des barres et des goussets. L'excentricité est importante et on doit en tenir compte dans le calcul des sections car elle détermine des efforts de flexion dans les treillis et des efforts de torsion dans les membrures.

— **2** Les lignes des centres de gravité des barres doivent coïncider, autant que possible, avec le tracé théorique du système réticulé.

Cette condition est facile à appliquer. Si, pour des raisons exceptionnelles, on s'en écarte sensiblement, les moments de flexion qui en résultent pour les barres seront pris en compte dans le calcul.

— **3** Le centre de gravité de l'ensemble des cordons de soudure ou du groupe de rivets qui attachent une barre

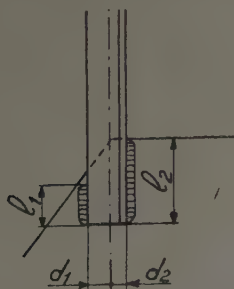


FIG. 10.

dans un nœud doit se trouver sur la ligne des centres de gravité de la barre considérée ou à une distance aussi réduite que possible de cette ligne.



FIG. 9.

5,121 3...

L'application de cette condition découle implicitement de la disposition même des assemblages pour la plupart des cas courants. Sa non-application entraîne l'existence, dans la soudure ou rivure, d'un couple qui doit être pris en compte dans le calcul.

Exemple : Pour une cornière attachée par cordons latéraux de soudure (fig. 10) il en résulte la condition :

$$l_1 a_1 d_1 = l_2 a_2 d_2$$

où a_1 et a_2 sont les épaisseurs théoriques des deux cordons de soudure.

Remarque : Pour les cornières, il n'est pas possible de respecter simultanément les conditions 5,121 2 et 3 car leurs lignes des centres de gravité ne coïncident pas avec l'axe de la rivure.

— **31** Si la ligne des centres de gravité de la barre en cornières (II) coïncide avec le tracé théorique du système réticulé (fig. 11), il en résulte dans la barre un moment supplémentaire limité à la zone de la rivure. Pour l'exemple considéré (cornière attachée par trois rivets), on a :

$$T = \frac{Fd}{l}$$

$$M_3 = \frac{Fd}{3}$$

$$M'_2 = \frac{Fd}{3} - \frac{Tl}{2} = -\frac{Fd}{6}$$

$$M_2 = \frac{2Fd}{3} - \frac{Tl}{2} = +\frac{Fd}{6}$$

$$M'_1 = \frac{2Fd}{3} - Tl = -\frac{Fd}{3}$$

$$M_1 = Fd - Tl = 0.$$

Étant donné que dans cette zone l'effort principal dans la barre se trouve déjà diminué par sa transmission partielle au gousset, les contraintes totales dans la barre ne dépassent pas celles de la section courante, en dehors de l'assemblage.

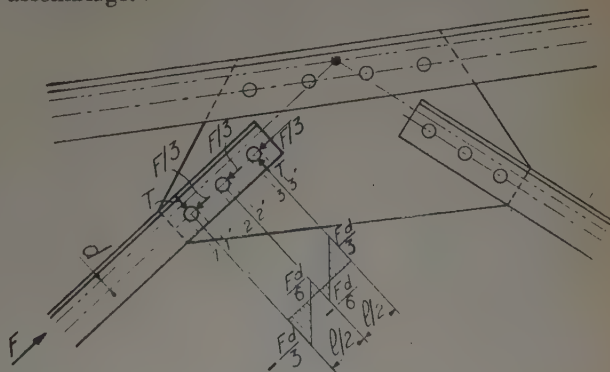


FIG. 11.

Le calcul est analogue pour tout autre nombre de rivets. Les efforts supplémentaires dans les rivets même sont négligeables.

5,121 32...

5,121 32 Si l'axe de la rivure coïncide avec le tracé théorique du système (ce qui se pratique, à tort, assez fréquemment pour ces barres), la transmission des efforts est plus complexe (fig. 12).

Les lignes des centres de gravité des barres ont dans ce cas trois points d'intersection. Le moment qui en résulte :

$$M = F_1 d_1 = F_2 d_2$$

se transmet aux barres (dans toute leur longueur) proportionnellement à leur raideur et produit un supplément de contraintes qui n'est pas négligeable.

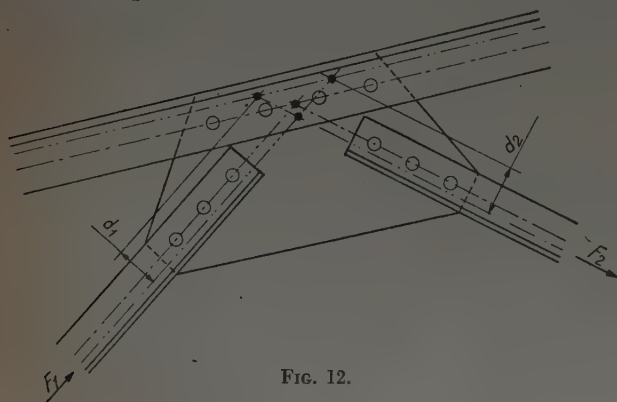


FIG. 12.

Les suppléments d'efforts dans les rivets sont, comme précédemment, négligeables.

Il est donc préférable pour les barres en Γ d'appliquer la règle des lignes des centres de gravité. On pourra évidemment arrondir les distances à 5 mm près sans aucun inconvénient.

Dans le cas des joints de membrures avec changement de section on pourra négliger une différence des lignes des centres de gravité, si elle ne dépasse pas 15 mm. Au delà de cette limite on pourra recourir à une fourrure (fig. 13) ou bien à une certaine compensation de cet écartement (fig. 14) par rapport au tracé théorique.

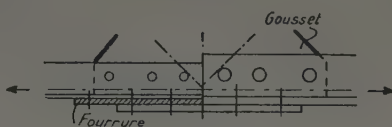


FIG. 13.

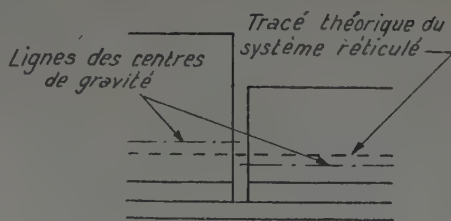


FIG. 14.

Une amélioration remarquable pour diminuer l'excentricité du dispositif indiqué dans la figure 12 est obtenue pour toutes les diagonales d'une demi-poutre en disposant les barres comme il est indiqué dans la figure 15.

Pour les barres en Γ on peut raccourcir les assemblages et en même temps centrer la transmission de l'effort en ajoutant des cornières selon la figure 16. Celles-ci

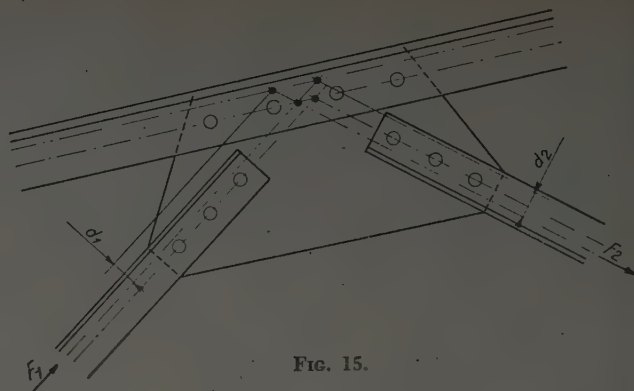


FIG. 15.

doivent être attachées aux barres par un nombre suffisant de rivets placés en avant des rivets d'attache au gousset, ce qui donne un nombre total de rivets supérieur à celui qui est nécessaire pour l'effort à transmettre. Par contre, il suffit de prévoir le nombre de rivets qui ressort du calcul pour attacher ces cornières au gousset.

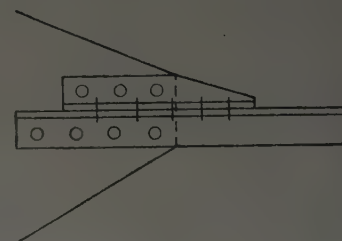


FIG. 16.

Pour les barres constituées par deux cornières placées en croix (fig. 17) il est utile de prévoir des cornières d'attache aux goussets selon la figure 17. Ces cornières auront la même forme et le même type de rivure que celles du cas précédent (fig. 16). Elles présentent surtout l'avantage de mieux utiliser la rivure d'attache au gousset en sollicitant les rivets en double cisaillement.



FIG. 17.

— 4 Les assemblages des barres ne doivent pas être trop longs.

Les efforts se répartissent inégalement dans les cordons de soudure ou rangées de rivets d'une trop grande longueur, les extrémités du cordon ou les rivets extrêmes étant beaucoup plus sollicités que la région du milieu, d'où mauvaise utilisation de l'ensemble de la liaison. Pour les soudures, la longueur des cordons est limitée à quarante fois leur épaisseur théorique a . Pour les rivures, il est recommandé de limiter le nombre de rivets dans une file.

La réduction de la longueur d'assemblage des barres s'impose pour créer des conditions plus proches de l'hypothèse de calcul des systèmes réticulés, qui suppose des nœuds articulés. L'encastrement effectif des barres s'oppose à leur déformation de rotation, d'où efforts secondaires de flexion. Cet effet est très diminué par les déformations plastiques et les glissements qui se produisent dans l'assemblage, mais la longueur des assemblages reste quand même la facteur décisif.

Une autre raison pour l'application de cette règle est la réduction des dimensions des goussets.

5,121 4...

Les figures 18 et 19 indiquent des exemples de dispositions pour raccourcir les assemblages.

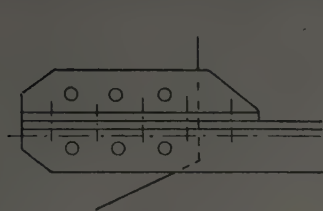


FIG. 18.

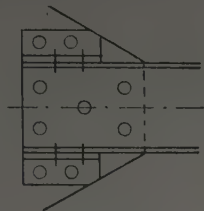


FIG. 19.

— 5 Dans les assemblages soudés on doit tendre à réaliser la transmission directe des efforts, en évitant si possible les pièces intermédiaires (goussets, etc).

— 6 Les agglomérations de soudure et les formes d'assemblages soudés qui peuvent donner lieu à des contraintes résiduelles importantes (tensions triaxiales) doivent être évitées.

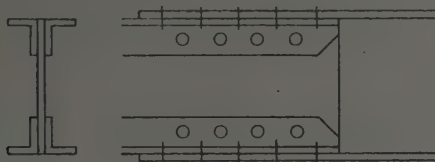


FIG. 20.

— 7 Dans les cornières tendues, attachées par rivetage sur les deux ailes (ainsi que pour certaines autres pièces tendues) on est parfois obligé de choisir pour les premiers rivets un écartement qui permette de déduire un seul trou pour la section nette. Ceci n'est pas nécessaire pour les autres rivets situés vers l'extrémité de la barre, où l'effort principal est déjà très réduit (fig. 13).

— 8 Dans les nœuds des systèmes réticulés à barres composées il est non seulement nécessaire que la rivure (ou soudure) soit suffisante pour transmettre l'effort total, mais elle doit être disposée de manière qu'aucun élément de la section ne soit sollicité excessivement. Exemples :

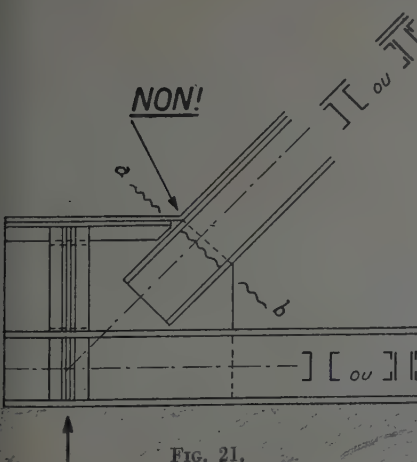


FIG. 21.

— 81 — Pour une barre composée d'une âme et quatre cornières (fig. 20), il faut que l'âme soit attachée aux cornières par un nombre suffisant de rivets sur la longueur de l'assemblage.

— 82 — Le nœud extrême d'une poutre réticulée trapézoïdale dont la membrure supérieure à une

5,121 82...

section en Π ou similaire, ne doit pas être réalisé comme indique la figure 21 où la semelle supérieure est repliée sur le bord supérieur des goussets car la transmission de l'effort de cette semelle se fait d'une manière défectueuse, d'où sollicitation excessive du reste de la section (Π) au niveau des premiers rivets (section ab).

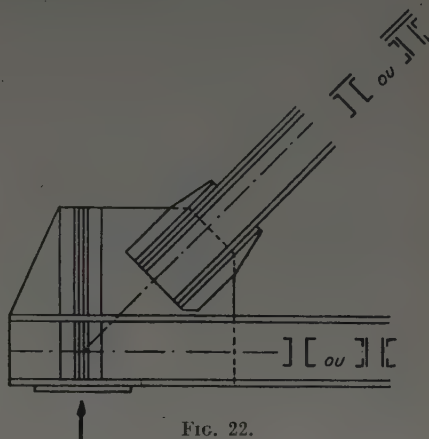


FIG. 22.

Une solution correcte de ce même nœud (fig. 22) consiste à prolonger la section complète Π jusqu'à l'extrémité de la barre en pratiquant dans la semelle deux entailles pour laisser passer les goussets et attacher à ceux-ci tous les éléments de la section, par des moyens capables de transmettre la part d'effort afférente à chacun de ces éléments.

— 9 Dans les assemblages doubles (fig. 23) on doit prévoir des éléments de liaison transversale, pour empêcher les flexions secondaires.

Ces éléments peuvent être constitués, selon le cas, par des tôles de liaison ou des tronçons de profilés U, I ou H placés de préférence entre les goussets mêmes ou au moins à proximité immédiate.

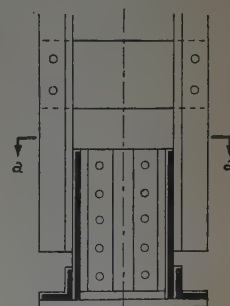


FIG. 23.

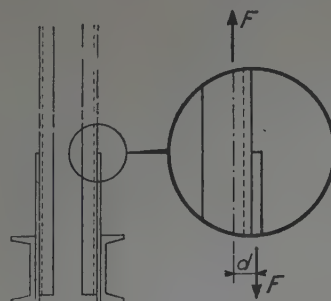


FIG. 24.

Si cette liaison transversale au niveau des goussets entre les deux parties d'une barre, même tendue, manque, les goussets et les barres sont soumis à un effort de flexion dû à l'excentricité de chaque élément de barre par rapport au gousset respectif (fig. 24).

5,122 12...

5,122 Règles applicables aux goussets.

— 1 Le calcul des goussets se fait en vérifiant les sections de rupture possible.

Un calcul exact des goussets est très difficile, à cause du grand nombre de points d'application des efforts (rivets), et même si l'on connaissait exactement ces efforts, il serait encore difficile de déterminer avec précision la répartition des contraintes dans le gousset.

Pratiquement, il suffit pour la vérification des goussets de supposer une répartition linéaire des contraintes provenant de la résultante des efforts situés d'un même côté de la section à vérifier.

— 10 EXEMPLES :

— 11 Calcul des efforts dans la section *aa*, du gous-

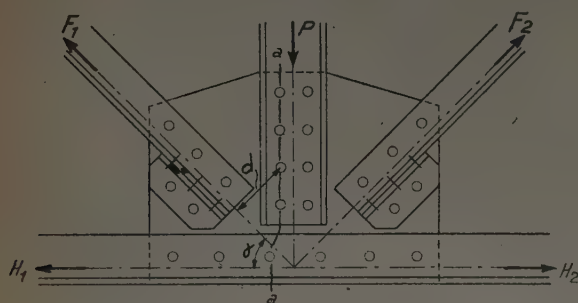


FIG. 25.

set (fig. 25). Cas de charges où $F_1 = F_2$ et $H_1 = H_2$, donc la membrure ne transmet aucun effort au gousset.

On a alors pour la section *aa* :

$$M = F_1 d,$$

où *d* est la distance du centre de gravité de la section *aa* à la ligne des centres de gravité à la diagonale en question, et

$$N = F_1 \cos \alpha.$$

— 12 Même nœud que dans l'exemple précédent, mais pour un cas de charges différent (fig. 26). On a alors pour la même section *aa* :

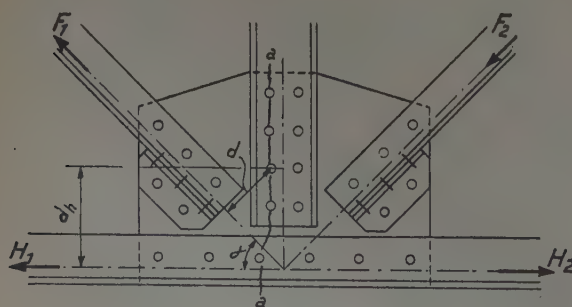


FIG. 26.

$$M = \frac{1}{2} D d_h + F_1 d \quad \text{et} \quad N = \frac{1}{2} D + F_1 \cos \alpha,$$

où $D = H_2 - H_1$, c'est-à-dire la partie de l'effort de la membrure transmise au gousset, et d_h est la distance du centre de gravité de la section *aa* à la ligne des centres de gravité de la membrure.

— 13 Gousset sans flexion (fig. 27). Le calcul se fait pour la section nette dangereuse. Celle-ci passe par une file transversale de rivets. Si le gousset est asymétrique par rapport à la barre, la section est continuée d'un côté par la plus courte distance du rivet extrême jusqu'au bord le plus rapproché et, du côté opposé, par une section symétrique à la précédente.

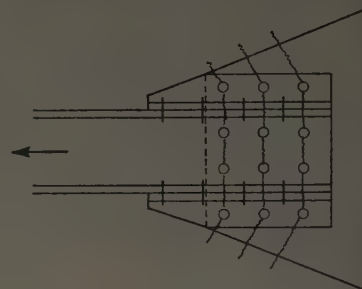


FIG. 27.

— 2 Le gousset doit, par sa forme et par la disposition de l'assemblage, éviter (ou réduire au minimum) l'excentricité des efforts par rapport aux sections du gousset qui sont principalement sollicitées.

La forme du gousset doit permettre une répartition convenable de l'effort des barres dans le gousset.

Par exemple on ne doit pas exécuter de goussets de la forme indiquée à la figure 28, mais comme à la figure 29.

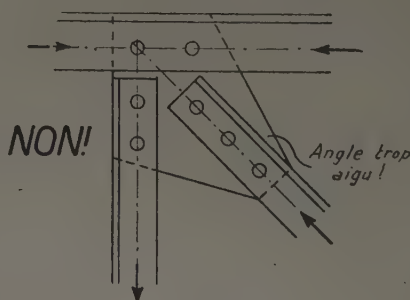


FIG. 28.

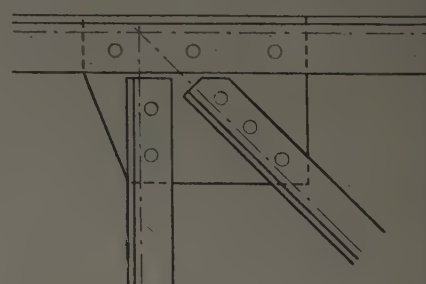


FIG. 29.

— 3 Pour le joint des membrures principales, on doit prévoir des couvre-joints suffisants sans tenir compte du gousset.

Le gousset ne doit remplir que le rôle de transmission des efforts des treillis aux membrures. Il est toutefois admissible, dans les constructions statiques de portée modérée, de ne pas prévoir de couvre-joints pour les ailes appliquées des éléments de membrures (fig. 13) à condition de vérifier le gousset par le calcul.

— 4 Dans les nœuds où la membrure principale n'est pas interrompue, les rivets qui l'attachent n'ont à transmettre au gousset que la différence des efforts de cette mem-

5,122 4...

brure, mesurés des deux côtés de l'assemblage (cf. 5, 122 12). On envisagera le cas de sollicitation qui donne sa valeur maximum à cette différence.

Pratiquement on met toujours un ou deux rivets en plus (pour chaque rangée de rivets s'il y en a plusieurs). Toutefois, dans la plupart des cas, c'est l'écartement maximum admissible des rivets qui impose un nombre de rivets supérieur aux nécessités de résistance.

— 5 On doit utiliser autant que possible dans un même système réticulé des goussets de même épaisseur.

Sous ce rapport on doit tenir compte des règles suivantes :

— 51 GOUSSET SANS FLEXION (voir 5, 122 13).

L'épaisseur e sera au moins égale à la valeur qui résulte de la relation $\frac{F}{be} \leq R$, où F est l'effort principal de la barre, b est la largeur (nette pour les cas de traction) de la section efficace du gousset. Il en résulte :

$$e \geq \frac{F}{bR}$$

— 52 GOUSSETS AVEC FLEXION (voir 5, 122 12).

La relation devient dans ce cas :

$$\frac{F}{be} + \frac{M}{I/v} < R,$$

où la valeur I/v est calculée pour la section efficace de rupture possible du gousset.

Si l'on pose $\frac{I}{v} = \frac{b^2 e}{6}$, on obtient la condition :

$$e \geq \frac{F}{bR} \left(1 + \frac{6d}{b} \right)$$

— 6 On doit éviter de donner aux goussets des angles rentrants. Ces angles provoquent une concentration d'efforts et un effet d'entaille, d'où danger de rupture. Si les membrures font un tel angle, on peut appliquer une des solutions des figures 30 et 31 ou autre, selon le cas.

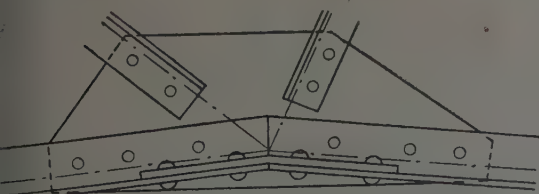


FIG. 30.

5,122 6...

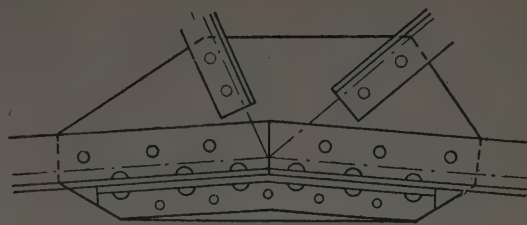


FIG. 31.

— 7 Les dimensions des goussets doivent être aussi réduites que possible, dans les limites imposées par la disposition des nœuds et par la sécurité.

Les goussets trop grands augmentent le poids de la construction et donnent des assemblages trop longs pour les barres (voir 5,121 4). L'écartement des rivets qui déterminent les dimensions des goussets sera donc réduit au minimum. Il est permis en outre, de couper obliquement l'aile appliquée des cornières si cela mène à une réduction du gousset (fig. 32).

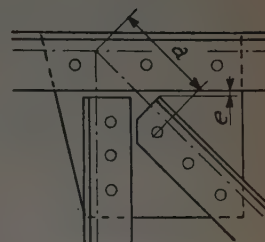


FIG. 32.

— 8 On doit donner aux goussets une forme aussi régulière que possible, ayant au moins deux bords perpendiculaires ou parallèles.

On peut même augmenter légèrement les dimensions de certains goussets, si on arrive ainsi à une longueur uniforme pour un nombre de goussets que l'on pourrait couper dans une bande de tôle, par une opération simple et avec peu ou pas de déchets.

Afin d'obtenir des goussets de forme plus régulière, on est parfois obligé d'augmenter dans les limites admissibles l'écartement des rivets de certaines barres et même d'ajouter des rivets supplémentaires.

Il est préférable de donner aux goussets une forme rectangulaire (fig. 33) plutôt que de les couper comme indiqué dans la figure 34.

De même, ce n'est que pour les barres à grandes sections, attachées par plusieurs rangées de rivets, qu'il convient

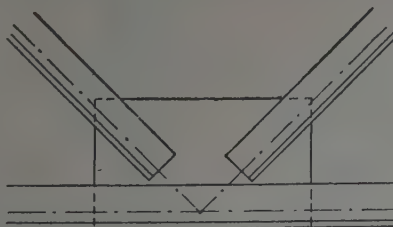


FIG. 33.

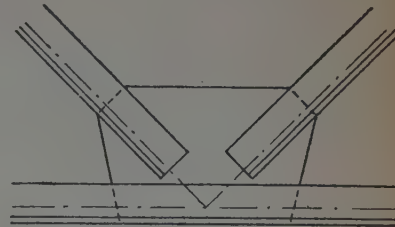


FIG. 34.

5,122 8...

de couper les coins des goussets (fig. 35). Pour les barres des charpentes usuelles on peut se dispenser de cette opération (fig. 36).

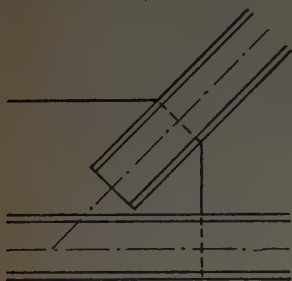


FIG. 35.

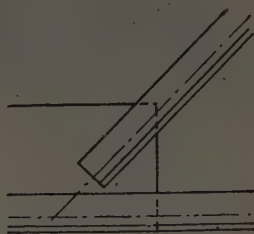


FIG. 36.

On doit éviter les goussets qui ne portent pas sur toute la hauteur de la membrure.

5,123 Exemples de nœuds de systèmes réticulés.

En dehors des exemples présents ci-avant, nous donnons quelques exemples de cas particuliers qui peuvent contribuer à montrer l'esprit dans lequel il convient de choisir la forme d'un nœud.

— 1 Cas d'un nœud d'appui d'une ferme sur maçonnerie. La figure 37 représente le cas d'une ferme soudée, la figure 38 le même nœud en construction rivée. La composante horizontale du vent donne lieu sur l'appui à une réaction H , d'où un moment parasite de rotation $M = Hh$, qui sollicite l'assemblage. On doit donc tendre à réduire h au minimum possible.

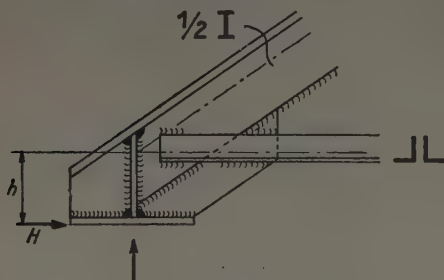


FIG. 37.

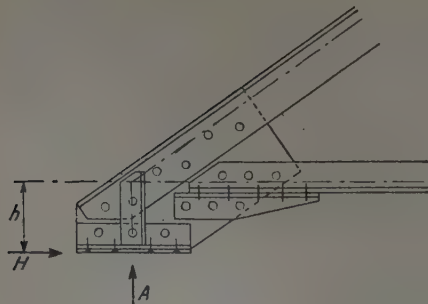


FIG. 38.

5,123 2 Autres formes de nœuds d'appui de fermes (fig. 39 et 40). Dans la figure 40, la rivure de la membrure inférieure doit transmettre l'effort horizontal de celle-ci, et, en même temps, l'effort vertical d'appui, d'où une résultante dirigée dans le sens de la diagonale. C'est pour cette résultante qu'il faut calculer la rivure. Il est à remarquer que, dans les conditions normales d'exécution des charpentes, on ne peut compter avec un soulagement de la rivure, dû à la transmission de l'effort vertical par appui direct du gousset sur la plaque d'appui. Ceci supposerait un ajustage parfait au bord du gousset qui n'est généralement pas réalisé.

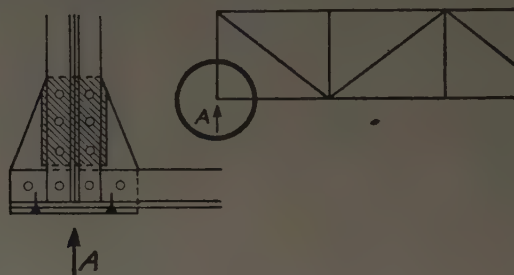


FIG. 39.

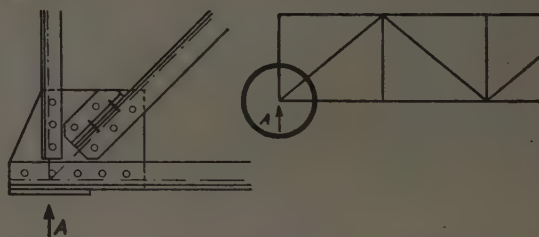


FIG. 40.

— 3 Assemblage soudé sur chantier, d'une ferme à un poteau (fig. 41). Pour éviter le soudage sur chantier, il est préférable d'adopter la solution indiquée dans la figure 42.

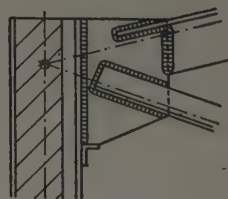


FIG. 41.

Coupe a-b

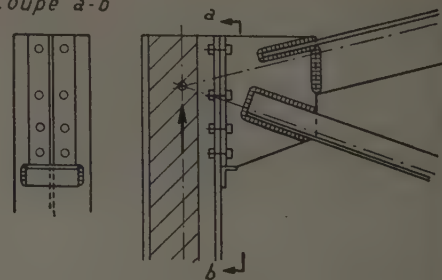


FIG. 42.

— 4 Nœuds soudés typiques pour systèmes à membrures en T réalisées soit avec un profilé laminé en T ou en I oxycoupé en deux, soit (à la rigueur) par soudage de deux larges-plats (fig. 43, 44, 45 et 46)). Avantage prin-

5,123 4...

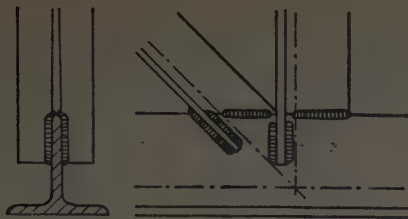


FIG. 43.

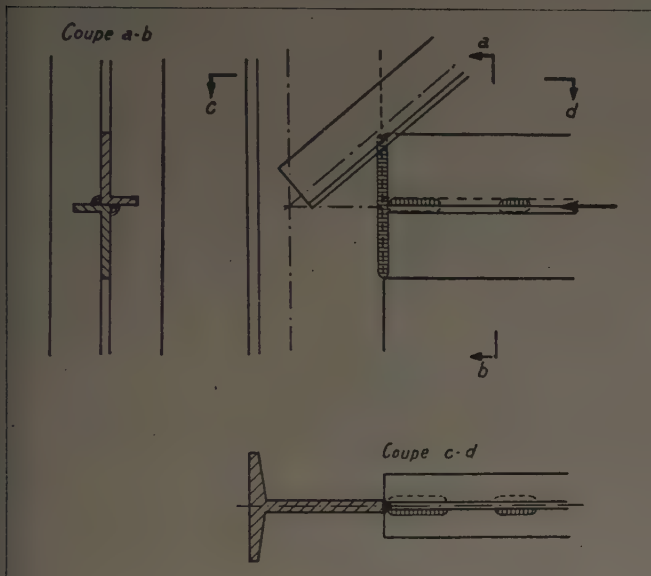


FIG. 44.

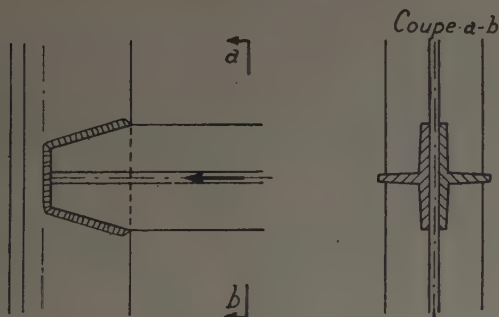


FIG. 45.

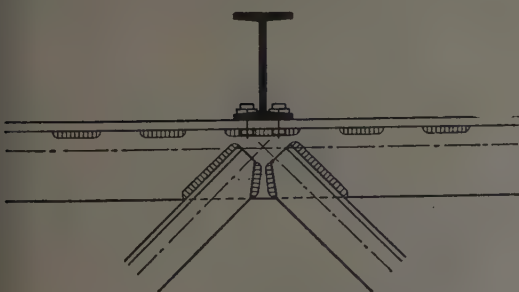


FIG. 46.

5,123 4...

cipal : suppression des goussets (voir 5,121 5). Lorsque la hauteur de la membrure ne suffit pas pour l'assemblage des barres de treillis on peut y ajouter un petit gousset soudé bout à bout (fig. 47 et 48). Les assemblages indiqués dans les figures 43, 45, 46 et 48 ont des soudures transversales sur des pièces tendues. Ils sont à éviter dans les constructions soumises à des efforts importants et variables.

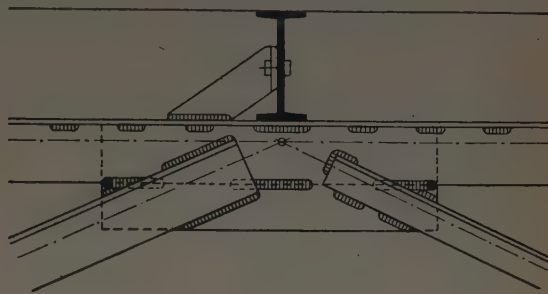


FIG. 47.

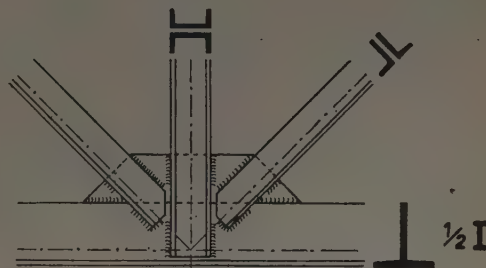


FIG. 48.

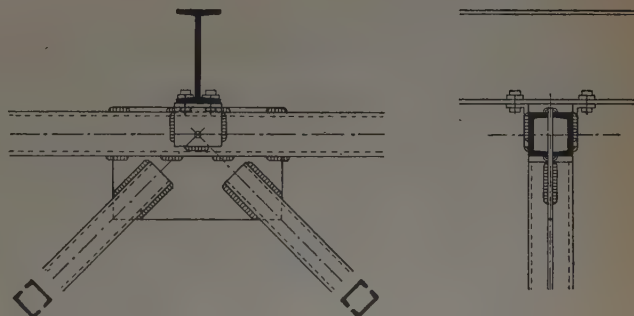


FIG. 49.

— 5 — Nœuds caractéristiques pour constructions soudées composées de deux profilés \square ou \angle (fig. 49 et 50). Ces sections sont très avantageuses au point de vue du poids, mais leur assemblage conduit à des solutions moins avantageuses que les sections en T et, en outre, elles ne permettent pas le renouvellement de la peinture sur les faces intérieures, ce qui exige une disposition de calfeutrement.

5,123 5...

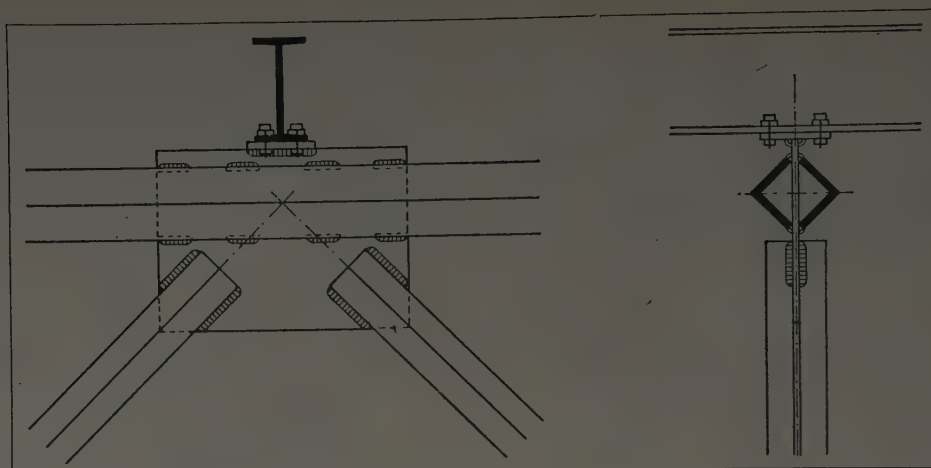


FIG. 50.

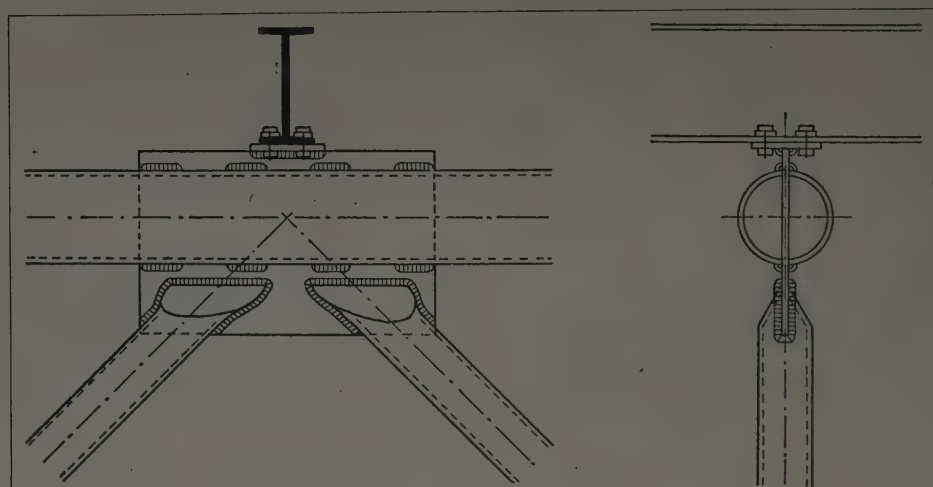


FIG. 51.

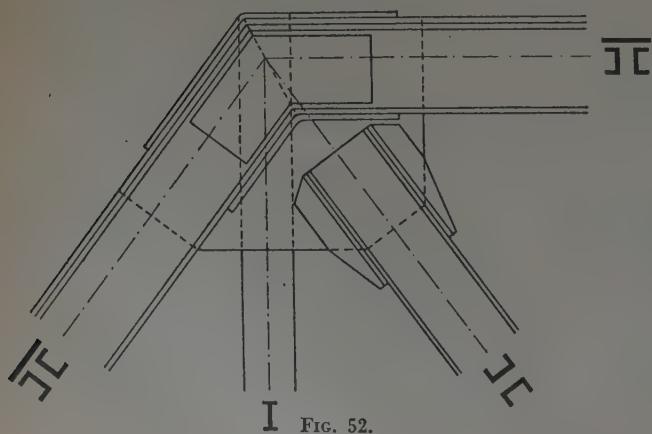
Nœud analogue au précédent, pour une construction en tubes (fig. 51).

— 6 Nœud caractéristique pour les poutres réticulées trapézoïdales de grandes dimensions à membrures à double paroi.

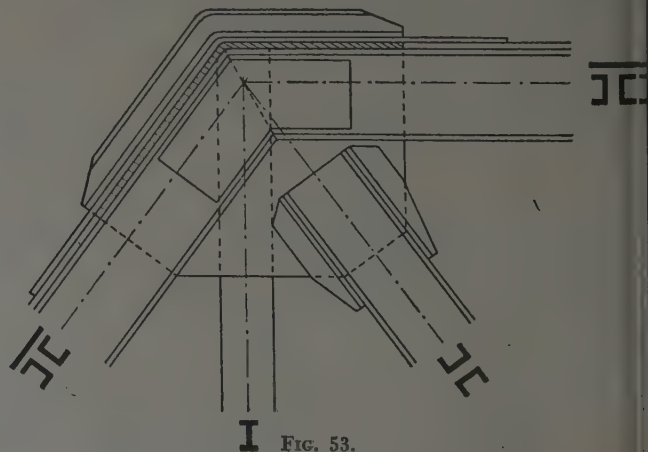
— 61 Solution défectueuse (fig. 52). La transmission

de l'effort d'une barre à l'autre devant se faire par des plates-bandes appliquées sur l'âme et les semelles. La transmission de l'effort principal par les plates-bandes pliées est au moins douteuse.

— 62 Solution acceptable du nœud précédent (fig. 53). Les semelles sont interrompues devant les gous-



I FIG. 52.



I FIG. 53.

5,123 62...

sets et sont reliées entre elles par des couvre-joints séparés, placés respectivement des deux côtés des goussets et entre les deux goussets (et qui nécessitent des fourrures, comme l'indique la figure) ou bien les semelles des membrures sont prolongées jusqu'au bout, mais ont des entailles qui laissent passer les goussets. Ceux-ci dépassent la section des membrures pour permettre de placer des cornières pliées à chaud, qui attachent d'une manière irréprochable les semelles aux goussets. L'exécution de ce nœud est relativement coûteuse à cause des cornières forgées et des fourrures (ou entailles des semelles).

— 63 Solution simple et irréprochable du même nœud (fig. 54).

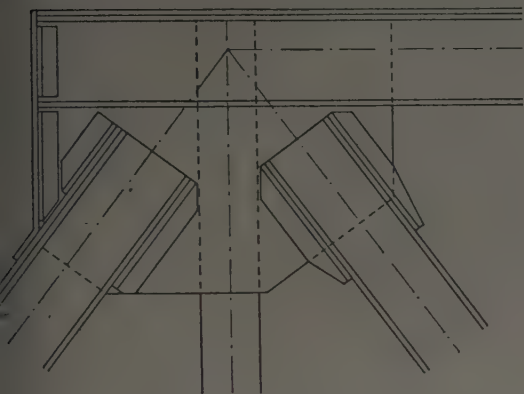


FIG. 54.

— 7 Exécution inadmissible d'un nœud comprenant un joint de la membrure inférieure d'une poutre réticulée (fig. 55). La section *ab* du gousset est excessivement sollicitée par l'effort total de la membrure interrompue. Le joint doit être suffisamment muni de couvre-joints capables de transmettre l'effort intégral.

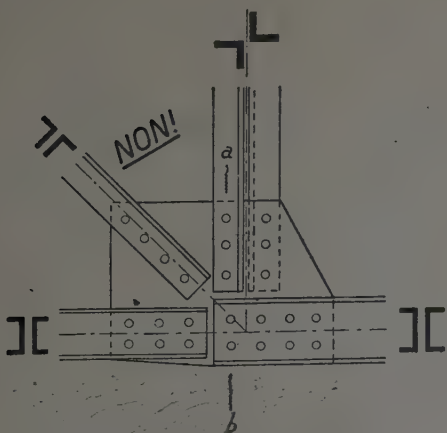


FIG. 55.

5,123 8 Nœuds de treillis de poteaux.

— 81 Nœuds de treillis de poteaux soudés, exécutés sans goussets, mais tout en respectant le centrage des assemblages (fig. 56).

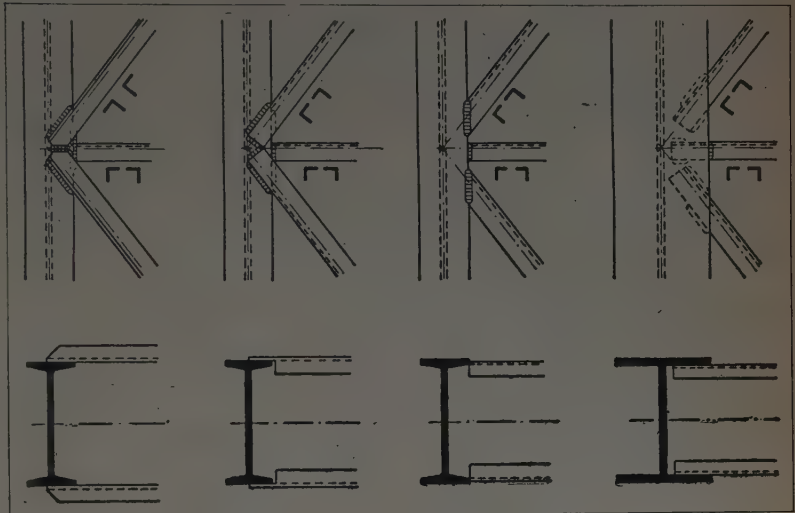


FIG. 56.

— 82 Nœud similaire aux précédents, mais où les assemblages n'ont pu être centrés (fig. 57). L'excentricité donne lieu dans les membrures à un effort tranchant :

$$T = \frac{Nd}{2h}$$

d'où un moment de flexion des membrures :

$$M = Th'$$

— 83 Même nœud en construction rivée (fig. 58).

— 84 Nœud de treillis de poteau rivé (fig. 59). Pour éviter l'excentricité, il est muni d'un gousset. Ces goussets augmentent le poids du poteau et surtout les opérations d'usinage.

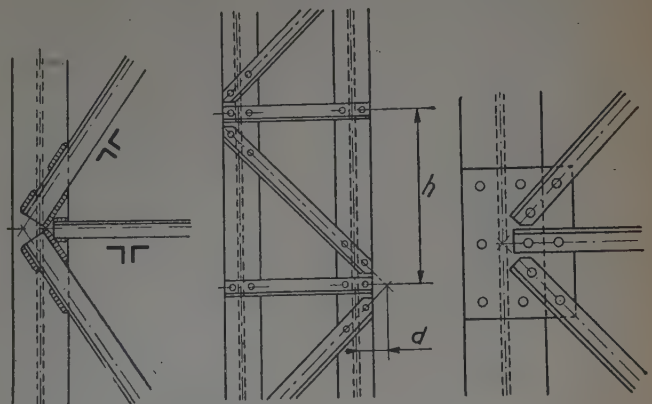


FIG. 57.

FIG. 58.

FIG. 59.

5,13 ASSEMBLAGES DE POUTRES A AME PLEINE

5,131 Généralités.

On distingue les catégories suivantes d'assemblages de poutres à âme pleine :

— Assemblages non encastrés, avec transmission de l'effort tranchant seulement,

Par appui direct sur une plaque d'appui, soudée ou rivée,
 Par appui direct sur une cornière soudée ou rivée;
 Par assemblage de l'âme en construction soudée ou rivée.

— Assemblages encastrés, avec transmission de l'effort tranchant et d'un certain moment de flexion.

5,132 Assemblages non encastrés.

— 1 Appui direct sur une plaque soudée ou rivée (fig. 60, 61 et 62).

Dispositif remarquablement simple et capable de trans-

5,132 II FLEXION DES AILES INFÉRIEURES DE LA POUTRELLE.

Section dangereuse au niveau du raccord du congé. En supposant l'effort uniformément réparti sur toute la largeur des ailes, le moment de flexion est (fig. 62) :

$$M = \frac{T b'^2}{B 2}$$

On peut considérer l'effort de flexion réparti sur une longueur de $2,5$ à $3 b'$ ce qui donne :

$$\frac{I}{v} = \frac{3b' \epsilon^2}{6}$$

d'où une contrainte de flexion :

$$n = \frac{M}{I} = \frac{T b'}{B \epsilon^2 v}$$

Si cette contrainte dépasse la limite admissible, il est aisé de renforcer la section en construction soudée (fig. 63.)

— 12 PRESSION PAR CONTACT SUR LA PLAQUE D'APPUI (fig. 60) :

$$\frac{T}{Be'}$$

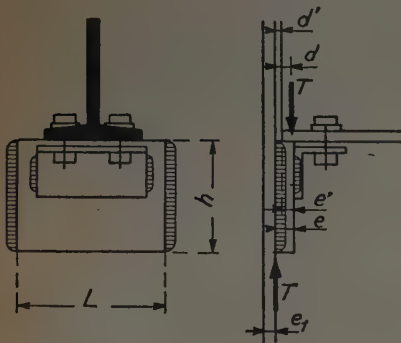


FIG. 60.

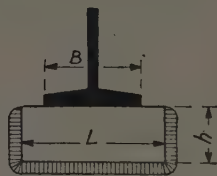


FIG. 61.

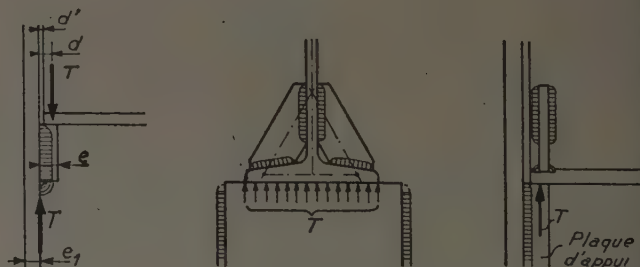


FIG. 63.

mettre des efforts tranchants importants. La transmission des efforts tranchants importants. La transmission de l'effort à la plaque d'appui se fait par appui direct et, de

la plaque d'appui à l'âme de la poutre principale, par les soudures ou rivures. La cornière ne sert qu'à assurer la poutre contre le déplacement latéral et peut être supprimée si cette fonction est réalisée par d'autres moyens.

La vérification de cet assemblage par le calcul est indiquée ci-après :

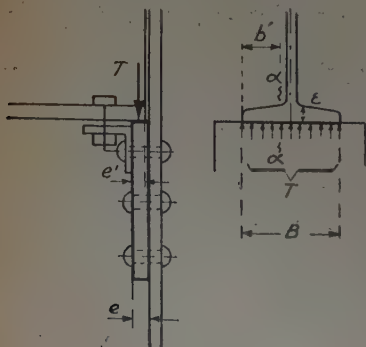


FIG. 62.

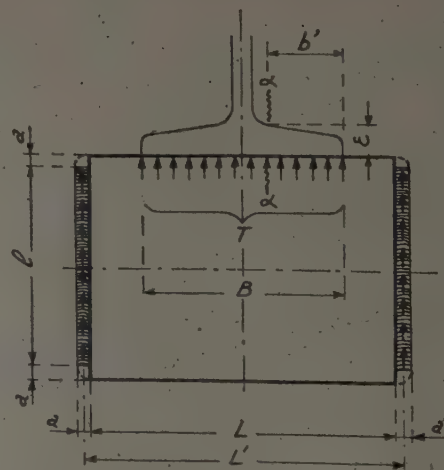


FIG. 64.

5,132 13 PLAQUE D'APPUI SOUDÉE PAR CORDONS LATÉRAUX (fig. 60 et 64).

Épaisseur des cordons $a \leq 0,707 e_{\min}$.

Longueur des cordons $l = h - 2a$ ou bien, si la soudure est prolongée autour des coins de la plaque :

$$l = h.$$

Section totale des cordons $S_s = 2al$.

Module de résistance de la section des cordons :

$$\frac{I_s}{v} = \frac{2al^3}{6}.$$

Moment de flexion dû à l'excentricité de l'appui :

$$M = Td \quad \text{où} \quad d = d' + \frac{e'}{2}.$$

Contraintes dans les cordons de soudure :

$$n = \frac{M}{\frac{I_s}{v}} \quad t = \frac{T}{S_s}$$

et on devra avoir $\sqrt{n^2 + t^2} \leq 0,65R$ (voir 3,122).

14 PLAQUE D'APPUI SOUDÉE PAR CORDONS LATÉRAUX ET CORDON FRONTAL (fig. 61 et 65).

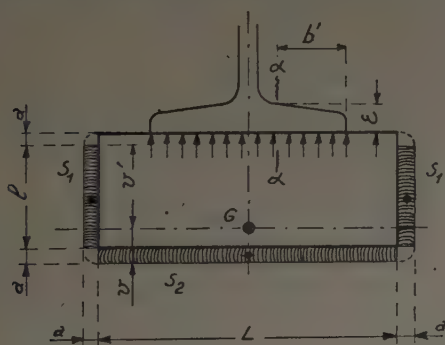


FIG. 65.

On aura dans ce cas pour les soudures :

$$l_1 = h - a \quad (\text{ou bien } l = h) \\ l_2 = L, \quad S_1 = al_1, \quad S_2 = al_2.$$

Section totale des soudures $S_s = 2S_1 + S_2$.

On calculera les distances v et v' par rapport au centre de gravité G de l'ensemble des sections des soudures, ainsi que le moment d'inertie I_s de cet ensemble et les valeurs $\frac{I_s}{v}$ et $\frac{I_s}{v'}$.

Le moment de flexion dû à l'excentricité de l'appui étant toujours :

$$M = Td \\ n' = \frac{M}{\frac{I_s}{v'}}, \quad n = \frac{M}{\frac{I_s}{v}} \quad \text{et} \quad t = \frac{T}{S_s}$$

5,132 14...

et on devra avoir :

$$\sqrt{n'^2 + t^2} \leq 0,65R$$

et :

$$\sqrt{n^2 + t^2} \leq 0,65R$$

15 PLAQUE D'APPUI RIVÉE (fig. 62).

m = nombre de rivets

$$\Phi = \text{diamètre} \quad t = \frac{T}{\frac{m\Phi^2}{4}}$$

et on devra avoir :

$$t \leq 0,8R \quad \text{ou} \quad t \leq 0,72R$$

selon que la rivure est exécutée à la machine ou à la main.

16 REMARQUE. — L'effet de l'excentricité de l'appui peut être négligé dans la vérification de la plaque ainsi que dans le calcul de la rivure.

2 Appui sur cornière (fig. 66).

La répartition et la transmission des efforts est moins claire que dans le cas précédent, la cornière étant sollicitée par des efforts de flexion longitudinaux et transversaux, d'où un effet combiné de torsion. Ce type d'assemblage ne peut donc s'appliquer que pour la transmission d'efforts tranchants de faible valeur.

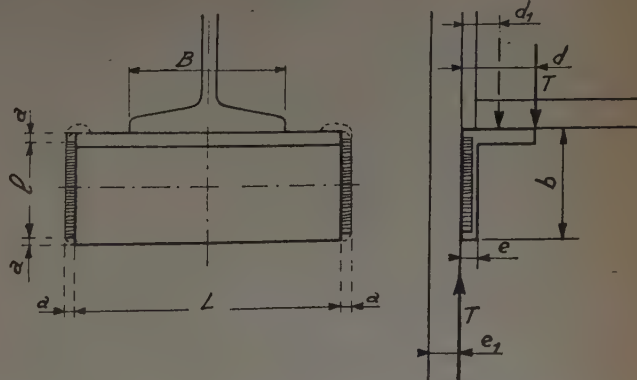


FIG. 66.

21 VÉRIFICATION DE LA CORNIÈRE SOUDÉE OU BOULONNÉE POUR FLEXION TRANSVERSALE.

A cause de la flexion de la poutre, la réaction d'appui s'applique entièrement au niveau du bord extérieur de l'aile horizontale de la cornière. Ce cas devra être considéré pour le

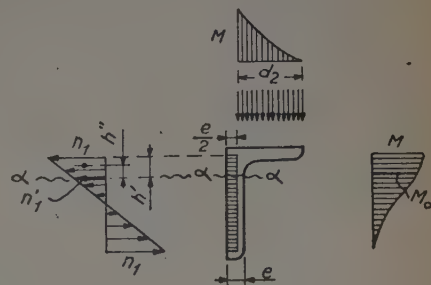


FIG. 67.

5,132 21...

calcul de la liaison (soudure ou rivure) à l'élément vertical si la cornière est raidie. Pour la vérification de l'aile horizontale, ou des cordons de soudure d'une cornière non raidie, il suffit toutefois de supposer la charge uniformément distribuée sur toute la surface du contact. Cela signifie que l'on suppose que si la cornière ne peut supporter la charge appliquée sur le bord extérieur, il se produit sans cassure une flexion de l'aile qui suit la flexion de la poutre et assure le contact et la distribution de l'effort sur toute la largeur de l'aile (fig. 67 et 68).

La section dangereuse est dans l'aile verticale à un niveau qui dépend de l'assemblage.

Le moment de flexion dans l'aile verticale est, pour la cornière rivée ou boulonnée :

$$M = \frac{Td_2}{2}$$

et l'on a pour cette aile :

la section $S = Le$ L étant la longueur de la cornière,

et le module d'inertie :

$$\frac{I}{v} = \frac{Le^3}{6}$$

ce qui donne finalement :

$$n_{\max} = \frac{M}{I/v} + \frac{T}{S} \leq R.$$

Pour la cornière soudée, le moment de flexion dans la section $\alpha\alpha$ est :

$$M = T \frac{d_2}{2} + 2ah't \frac{e}{2} - \frac{n_1 + n_1'}{2} 2ah'h''$$

où t est la contrainte dans le cordon due à l'effort tranchant :

$$t = \frac{T}{2la}$$

l est la longueur théorique des cordons.

Pour les autres notations, voir figure 67.

L'effort normal dans la section $\alpha\alpha$ de la cornière est :

$$N = T - 2ah't.$$

On a pour cette même section :

$$S = Le \quad \text{et} \quad \frac{I}{v} = \frac{Le^3}{6}$$

5,132 21...

d'où la contrainte maximum :

$$n_{\max} = \frac{M}{I/v} + \frac{N}{S} \leq R.$$

— 22 CALCUL DES SOUDURES (deux cordons latéraux, fig. 66). Soient l'épaisseur théorique des cordons $a \leq 0,707 e_{\min}$ et leur longueur théorique $l = b - 2a$ (ou $l = b$).

Il résulte pour les deux cordons :

$$S = 2al \quad \text{et} \quad \frac{I}{v} = 2 \frac{al^3}{6}$$

Moment de flexion pour le calcul des soudures (hypothèse la plus défavorable).

$$M = Td \quad n = \frac{M}{I_s/v} \quad t = \frac{T}{S_s} \quad \sqrt{n^2 + t^2} \leq 0,65R.$$

La répartition des contraintes est en réalité plus complexe. La grande rigidité de la cornière dans sa partie supérieure par rapport au bord inférieur fait que les extrémités supérieures des soudures sont plus sollicitées qu'il ne ressort du calcul ci-dessus. Il est donc recommandé de choisir des soudures à section supérieure ou de prolonger les cordons autour des coins supérieurs de la cornière.

— 23 Les rivets (ou boulons) sont à calculer selon l'hypothèse la plus défavorable qui est celle de l'appui concentré sur le bord de la cornière (fig. 68) dans le cas où la cornière serait raidie.

Le couple de forces constitué par l'effort tranchant T et par la réaction égale et de sens opposé provoquée dans le plan de l'assemblage, est compensé par le couple de forces H , dont l'une est la réaction d'appui horizontale supposée concentrée au bord inférieur de la cornière et l'autre est l'effort d'arrachement dans les boulons (ou rivets).

On a donc dans le cas des cornières non raidies :

$$H = \frac{Td/2}{h'}$$

ce qui donne pour le cas de deux boulons (ou rivets) de section ω , une contrainte de traction $n = \frac{H}{2\omega}$. De même,

on aura au cisaillement $t = \frac{T}{2\omega}$.

— 3 Assemblages de poutres réalisés par assemblage de l'âme seulement.

— 31 EN CONSTRUCTION SOUDÉE (fig. 69). Les assemblages de ce type ont en réalité un certain encastrement. Celui-ci peut être négligé pour le calcul des poutres de hauteur modérée, ce qui est une hypothèse défavorable pour la poutre donc admissible. Ce moment d'encastre-

5,132 31...

Coupe a-b

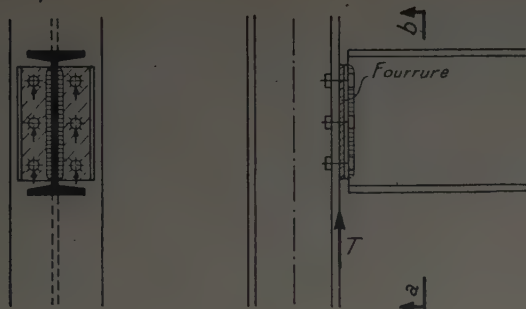


FIG. 69.

ment parasite donne des efforts d'arrachement souvent négligeables dans les boulons. Il peut être, par contre, nécessaire de le prendre en compte dans le calcul des cordons de soudure.

Cet assemblage est constitué d'un large plat soudé à l'âme et boulonné à l'élément vertical. On peut introduire si nécessaire une fourrure mince afin de réaliser un contact parfait, mais pas trop épaisse, car dans ce cas les boulons seraient sollicités par des efforts supplémentaires de flexion.

Le calcul est très simple et se fait pour le cisaillement combiné avec l'encastrement parasite. L'effort tranchant est également réparti aux boulons, qui n'ont pas à supporter d'efforts horizontaux, sauf l'effort d'arrachement mentionné ci-dessus.

Cet assemblage peut être exécuté avec une plaque prolongée (fig. 70) afin d'y pouvoir placer un plus grand nombre de boulons.

5,132 31...

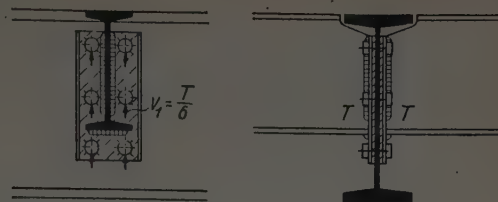


FIG. 70.

32 ASSEMBLAGES D'UNE POUTRE PAR L'ÂME, EN CONSTRUCTION RIVÉE.

C'est le type classique d'assemblage des poutres. Les cornières ont généralement une longueur égale à la hauteur de la partie plane de l'âme et ne sont qu'exceptionnellement prolongées et ajustées sur le congé et les ailes (fig. 71).

321 Attache des cornières à l'âme de la poutre.

Les cornières constituent un prolongement de l'âme. La liaison des cornières à l'âme est donc à considérer comme un joint de l'âme, ayant à transmettre l'effort tranchant et le moment de flexion dans la section respective, qui dans ce cas n'est que le moment dû à l'excentricité de l'appui : $M = Td$.

La section des cornières est généralement suffisante.

L'effort tranchant est également distribué sur les rivets.

$$V = \frac{T}{m} \quad V = \text{effort vertical dans un rivet;} \\ m = \text{nombre de rivets.}$$

Le moment de flexion donne des efforts horizontaux dans les rivets. La valeur de ces efforts est proportionnelle à leur écartement de l'axe neutre.

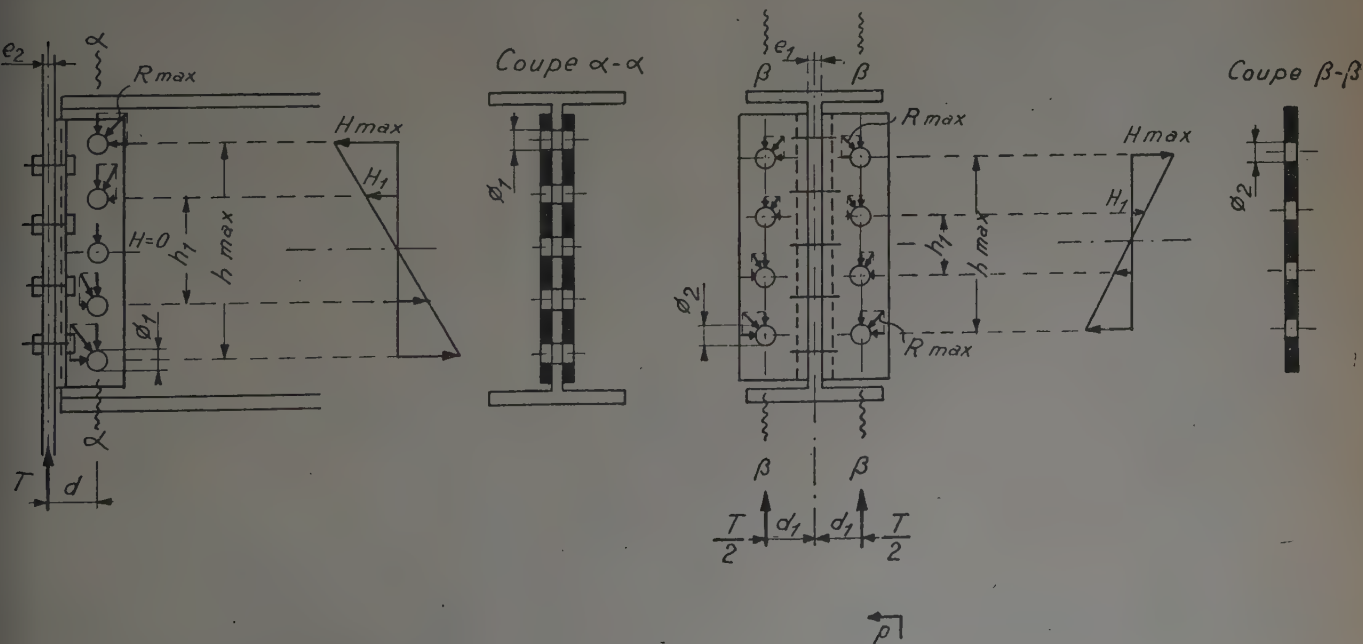


FIG. 71.

5,132 321...

$$H_n = M \frac{h_n}{\sum h^2}$$

L'effort de cisaillement dans un rivet est :

$$\sqrt{V^2 + H_n^2} = R_n$$

L'effort maximum se produit alors dans le rivet extrême :

$$V = \frac{T}{n}, \quad H_{\max} = M \frac{h_{\max}}{\sum h^2}$$

$$F_{\max} = \sqrt{V^2 + H_{\max}^2}$$

Contrainte maximum de cisaillement dans un rivet de section ω :

$$t = \frac{F_{\max}}{2\omega}$$

Contrainte maximum de pression latérale $p_d = \frac{F_{\max}}{e\Phi}$

Dans le cas de deux (ou plusieurs) files de rivets (fig. 72), on calculera par rapport au centre de gravité G de la rivure comme suit :

$$M = Td$$

Le facteur d'inertie polaire est alors :

$$I_p = \sum h^2 + \sum v^2$$

Il en résulte :

$$V_{\max} = M \frac{v_{\max}}{I_p} + \frac{T}{m}$$

où m est le nombre total de rivets.

$$H_{\max} = \frac{h_{\max}}{I_p}$$

$$F_{\max} = \sqrt{V_{\max}^2 + H_{\max}^2}$$

Lorsque les distances horizontales v sont très inférieures aux distances h (fig. 73), il est admissible d'appliquer un

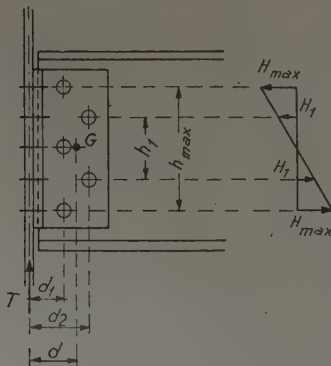


FIG. 73.

calcul approximatif en supposant les deux files de rivets déplacées sur la verticale du centre de gravité de la rivure, soit :

5,132 321...

m_1 le nombre de rivets de la file I;

m_2 le nombre de rivets de la file II;

d_1 la distance de la file I à l'axe de l'élément vertical;

d_2 la distance de la file II à l'axe de l'élément vertical.

On aura alors :

$$d = \frac{m_1 d_1 + m_2 d_2}{m_1 + m_2} \quad M = Td$$

L'effort vertical dans chaque rivet : $v = \frac{T}{m_1 + m_2}$

$$H_{\max} = M \frac{h_{\max}}{\sum h^2}$$

$$F_{\max} = \sqrt{V^2 + H_{\max}^2}$$

— 322 Attache à l'élément vertical (âme de poutre ou poteau) (fig. 71).

Cette attache constitue l'assemblage proprement dit, puisque les cornières peuvent être considérées comme un prolongement de l'âme. L'effort tranchant peut être considéré comme distribué également sur les rivets (ou boulons).

$$V = \frac{T}{m}$$

Il est recommandable d'employer des boulons au lieu de rivets pour cette partie de l'assemblage, ce qui évite d'avoir des efforts d'arrachement dans les rivets et rend en même temps le montage plus facile.

— 323 Il est incorrect d'exécuter un assemblage selon la figure 74. Dans ce cas, les cornières ne fonctionnent plus comme un prolongement de l'âme, mais comme des consoles de la poutre principale, sur lesquelles reposent les poutres courantes. Il en résulte une torsion prononcée de la poutre principale.

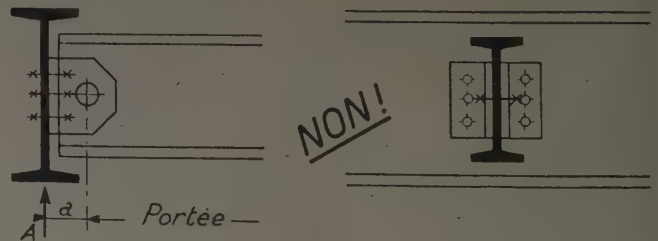


FIG. 74.

5,133 Assemblages assurant la continuité des poutres.

Ces assemblages assurent une transmission de l'effort tranchant, et d'un certain moment de flexion.

— 1 Les assemblages assurant la continuité, bien qu'ils compliquent le montage, peuvent être avantageux pour le dimensionnement des poutres, surtout dans la cons-

5,133 1...

truction des planchers, qui sont exclusivement constitués par des poutres et poutrelles.

Il est particulièrement intéressant de remarquer qu'un assemblage encasté, exécuté d'une manière rationnelle peut même être plus avantageux que la continuité proprement dite de la poutre. En effet, si l'on considère par exemple le cas d'une charge p uniformément distribuée, une simple poutre sur deux appuis sans encastrement aura un moment maximum $M = pl^2/8$. La même poutre, avec un encastrement supposé parfait sur les appuis, devra être dimensionnée pour le moment sur les appuis qui est dans ce cas $M = pl^2/12$ si on ne fait pas état de l'adaptation plastique, tandis que le moment au milieu de la portée n'est que $M = pl^2/24$. Si l'on arrive à exécuter un encastrement partiel, de sorte que le moment sur les appuis ne soit que $M = pl^2/16$ ou si on fait état de la plasticité (Règles C. M. 1946), le moment au milieu de la portée sera de même $M = pl^2/16$. L'encastrement complet représente donc une réduction de $1/3$ du moment maximum par rapport au cas d'une poutre simple sur deux appuis, tandis qu'un encastrement partiel peut conduire à une réduction de $1/4$ du moment par rapport au cas d'encastrement complet à condition que cet encastrement partiel soit dimensionné de manière à transmettre, avec l'exactitude possible, juste le moment désiré.

Pour les poutres continues, le cas est analogue. Leurs moments de flexion sur les poteaux sont inférieurs aux moments maxima des poutres simples sur deux appuis, pour les mêmes portées et les mêmes charges, mais ils sont supérieurs aux moments maxima en travée pour la même poutre avec continuité parfaite, sans adaptation. Si l'on arrive à réaliser sur les appuis des assemblages tels que les moments sur les appuis soient approximativement égaux aux moments maximum en travée, on obtient une réduction de la section nécessaire de la poutre et une meilleure utilisation de cette section sur toute la longueur. On arrive à la même conclusion en continuité parfaite en utilisant les Règles C. M. 1946.

Les encastrements sont réalisés au moyen d'un couple de forces horizontales qui s'opposent à la flexion des solives : une force de traction au niveau des ailes supérieures transmise par la plaque supérieure de liaison, et une compression directe au niveau des ailes inférieures. L'encastrement n'est pas rigoureusement complet, car l'assemblage permet un certain glissement des ailes supérieures. Les ailes inférieures sont, par contre, fixes dans leur position

5,133 1...

et peuvent même être soudées à la poutre sans que cela change le caractère de l'encastrement (fig. 75-76).

On peut en principe, déterminer à volonté le degré d'encastrement en variant la rigidité de l'assemblage, c'est-à-dire la section de la plaque supérieure et sa liaison aux ailes de la solive. Pour atteindre le moment d'encastrement optimum, la section nette de la plaque de liaison doit être environ égale à la section nette des ailes supé-

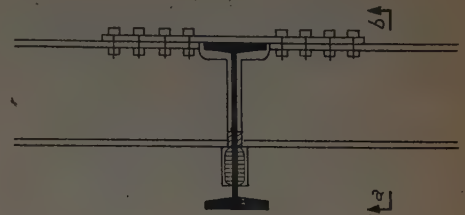
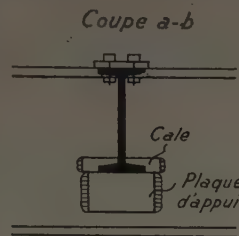


FIG. 75.

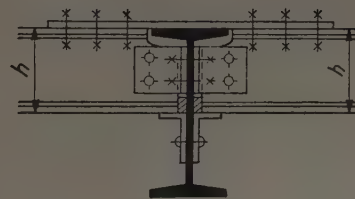


FIG. 76.

rieures de la solive. On retrouve ainsi l'adaptation des Règles C. M. 1946.

Il est avantageux pour la construction de disposer les poutres et les solives avec leur face supérieure de niveau. Les surfaces terminales des ailes comprimées des solives doivent être soigneusement ajustées et appuyées sur des plaquettes assurées contre le déplacement.

— 2 Pour les solives de hauteurs différentes, il faut assurer la transmission directe de la compression (fig. 77-78-79).

Lorsque la différence de hauteur des solives ($h_2 - h_1$) est importante, seule la solive la plus petite peut être calculée avec encastrement.

Coupe a-b

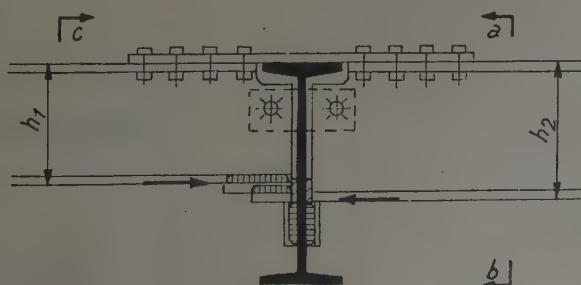
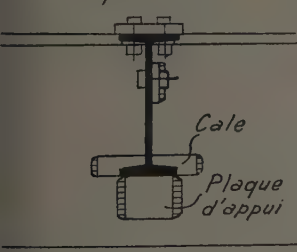
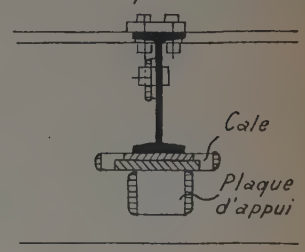


FIG. 77.

Coupe c-d



5,132 2...

5,134 1...

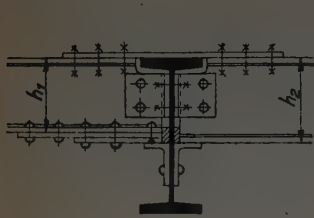


FIG. 78.

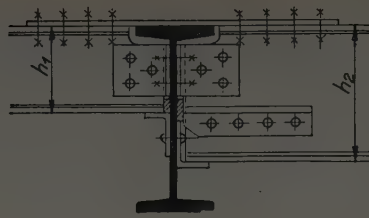


FIG. 79.

Ce genre d'encastrement peut également être exécuté pour les solives posées sur les poutres (fig. 80).

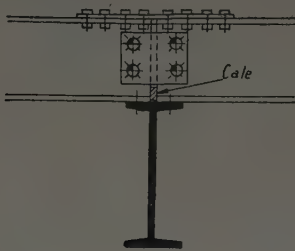


FIG. 80.

5,134 Découpage des poutrelles sur les appuis.

— 1 Il peut être nécessaire de découper les poutrelles sur l'appui pour une des raisons suivantes :

- Pour réaliser le niveau commun de la surface supérieure ou inférieure des poutres à assembler;
- Pour assembler des poutrelles de hauteur égale;
- Pour réduire la hauteur de certaines constructions.

Les formes les plus courantes de découpage sont indiquées dans la figure 81.



FIG. 81.

Dans le cas d'une poutrelle découpée selon la figure 82, la section dangereuse est $\alpha\alpha$, sollicitée par le moment de

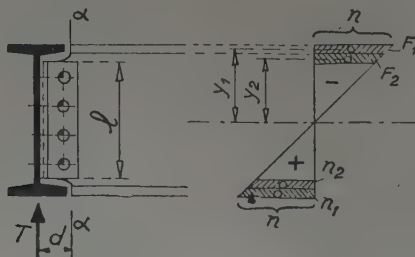


FIG. 82.

flexion $M_\alpha = Td$ qui donne une contrainte normale $n = \frac{M_\alpha}{I/v}$

L'effort tranchant T donne pour la section $\alpha\alpha$ une contrainte

$$t = \frac{T}{S_n}$$

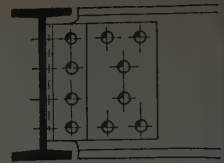


FIG. 83.

La section $\alpha\alpha$ sera souvent trop faible. Elle peut être renforcée comme l'indique la figure 83.

— 2 Un problème qui se pose parfois est celui d'appuyer une poutre sur une autre, la face inférieure de la première étant à un niveau légèrement inférieur à celui de la face supérieure de l'autre, ce qui impose le découpage sur l'appui. Une forme très avantageuse du point de vue de la résistance peut être réalisée par oxycoupage selon la figure 84, ensuite pliage de l'aile inférieure et soudage de cette aile à l'âme découpée selon la figure 85.



FIG. 84.

Le calcul des cordons de soudure de l'aile inférieure se fait de manière normale, pour l'effort correspondant à cette aile dans la section réduite. Grâce à la réduction progressive de la section, les accumulations d'efforts sont évitées, mais surtout si la réduction de section est importante, l'effort tranchant devra être considéré dans le calcul.

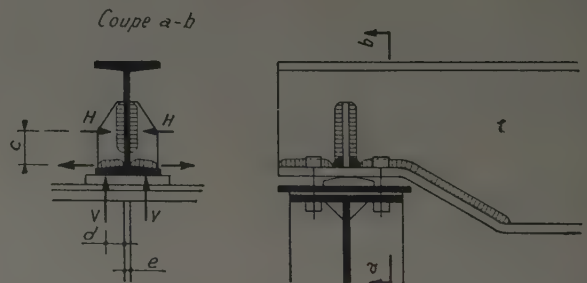


FIG. 85.

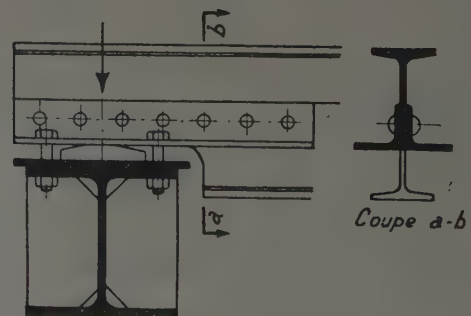


FIG. 86.

5,134 2...

Une forme simple et avantageuse en construction rivée est indiquée dans la figure 86.

Dans le cas des dispositifs indiqués dans les figures 85 et 86, il peut être nécessaire de prévoir des raidisseurs d'âme pour la poutre d'appui.

D'autre part, si le serrage des boulons n'est pas effectivement évité, on doit tenir compte de l'effet d'encastrement qui pourrait se produire.

5,14 LES ASSEMBLAGES OBLIQUES

5,141 Les assemblages obliques peuvent être nécessaires pour certaines constructions, par exemple pour certains planchers de forme irrégulière, les ponts biais, etc. Le problème de ces assemblages présente des particularités qui ne peuvent être résolues qu'à la suite d'un examen des conditions posées par chaque cas.

5,142 Les assemblages obliques soudés ne présentent aucune difficulté spéciale, tant que le découpage des profilés se fait aisément au chalumeau et que les cordons de soudure peuvent être exécutés dans de bonnes conditions d'accessibilité.

5,143 Nous indiquons dans la suite quelques exemples d'assemblages obliques rivés.

— 1 — Assemblage mutuel de deux poutres, sous un angle α (fig. 87) ($90^\circ > \alpha > 60^\circ$). La disposition et le calcul sont analogues au cas normal ($\alpha = 90^\circ$), l'assem-

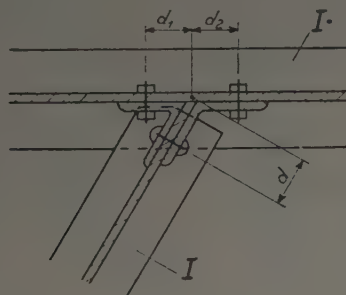


FIG. 87.

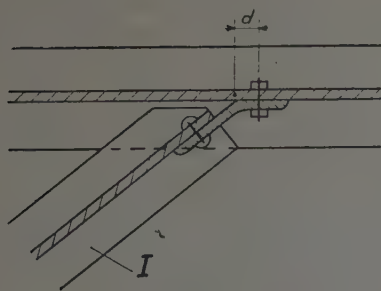


FIG. 88.

blage étant réalisé au moyen de cornières légèrement déformées.

5,143 2 — Pour $\alpha < 60^\circ$, assemblage au moyen d'une seule cornière déformée, placée sur le côté de l'angle obtus (fig. 88). Cet assemblage ne permet que la transmission d'efforts tranchants peu importants. La vérification des boulons d'attache pour l'effort tranchant doit être accompagnée de l'effet d'excentricité calculé avec le bras de levier d .

— 3 — Si l'effort tranchant est plus important, on peut employer, en dehors de la cornière de l'angle obtus une tôle pliée formant cornière du côté de l'angle aigu (fig. 89). Chaque file de boulons supporte, en dehors de l'effort tranchant, un moment :

$$M = T \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

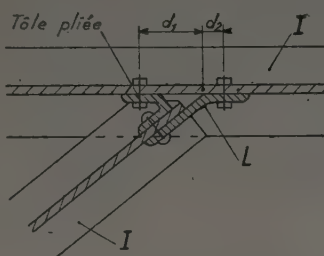


FIG. 89.

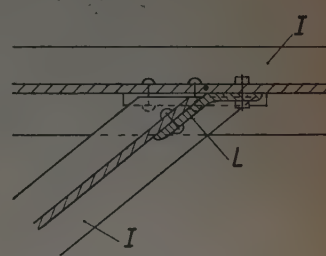


FIG. 90.

— 4 Disposition préférable surtout pour efforts assez grands (fig. 90). La poutre est coupée en biais et s'appuie directement sur une plaque. La cornière ne sert qu'au montage et pour maintenir la poutre dans sa position.

— 5 — Appui d'une poutre oblique sous un angle près de 90° sur un poteau en Π (fig. 91). L'appui est bien centré et perpendiculaire, grâce au tronçon de poutrelle I qui sert à transmettre l'effort d'appui vertical. Les cornières ne servent qu'à maintenir la poutre dans sa position.

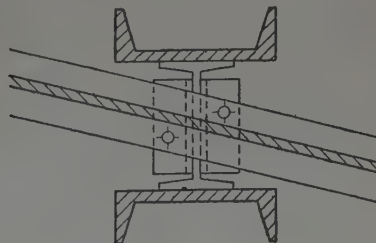


FIG. 91.

5,143 6 Si l'angle α est plus petit, la disposition suivante peut être adoptée (fig. 92). Les poutres sont sciées ou oxycoupées en biais. L'appui sur plaques donne une bonne transmission de l'effort tranchant. La même disposition peut être appliquée dans le cas des poteaux en H.

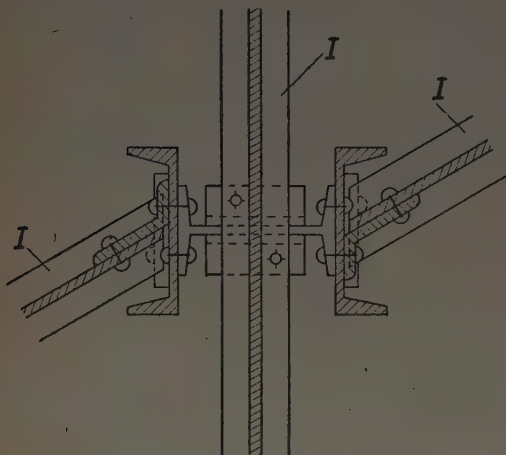


FIG. 92.

5,15 ABOUTÈMENT DES POTEAUX

5,151 Les bâtiments à étages sont souvent exécutés avec des poteaux continus sur toute leur hauteur. L'aboutement de ces poteaux est nécessaire à cause des longueurs limitées des profilés laminés et pour obtenir une variation des profilés correspondant aux efforts qui varient d'un étage à l'autre.

5,152 La transmission de l'effort normal dans ces poteaux peut se faire :

- Par éclisses;
- Par appui direct.

— **1** Les assemblages pour lesquels on ne prend pas en compte la transmission de l'effort par appui direct, doivent être calculés pour transmettre la totalité de l'effort normal par les éclisses.

Les soudures, rivets ou boulons doivent alors également pouvoir transmettre l'effort intégral.

— **2** Les assemblages où la transmission de l'effort normal de compression se fait par appui direct du tronçon supérieur sur celui inférieur supposent un dressage des surfaces terminales.

Ces assemblages seront toutefois dimensionnés de manière à pouvoir transmettre par les éclisses une partie (par exemple la moitié) de l'effort normal. Il est supposé qu'une adaptation de l'assemblage se produit, si cela est nécessaire, jusqu'à ce que le contact entre les surfaces terminales des parties assemblées soit réalisé.

5,153 En principe, l'assemblage peut être dimensionné soit pour reconstituer la section du poteau, soit pour résister aux efforts maxima dans la section, calculés pour le cas de charges le plus défavorable.

5,154 Disposition des joints des poteaux.

— **1** Il est avantageux de placer les joints des poteaux à une faible hauteur (50 cm environ) au-dessus des planchers. Cette disposition permet une bonne utilisation des sections et un montage facile.

Ces joints sont souvent disposés tous les deux étages car il n'est généralement pas nécessaire de faire varier le profilé à chaque étage.

— **2** Pour les poteaux fléchis et comprimés solitaires des poutres, les joints peuvent être placés au niveau où le moment de flexion s'annule. Les joints sont toutefois dimensionnés de manière à supporter une partie du moment d'encastrement (par exemple la moitié).

5,155 La constitution de ces assemblages doit permettre un montage facile. Pour cette raison on emploie de préférence le boulonnage pour les parties qui sont à assembler sur chantier.

5,156 Exemples d'aboutement de poteaux.

— **1** Aboutement d'un poteau constitué par une poutrelle H, réalisé au moyen de plaques transversales soudées aux extrémités dressées des tronçons du poteau.

— Assemblage à l'atelier au moyen d'une seule plaque (fig. 93).

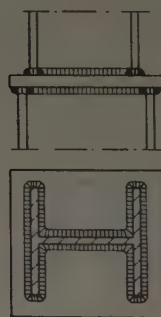


FIG. 93.

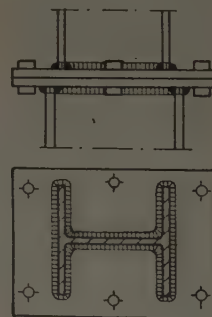


FIG. 94.

— Assemblage sur chantier au moyen de deux plaques soudées aux tronçons de poteau et boulonnées entre elles (fig. 94).

— **2** Aboutement d'un poteau constitué par une poutrelle H avec changement de section en construction rivée.

— **21** Assemblage au moyen d'éclisses boulonnées.

Cas normal (fig. 95). En cas de changement de section important, les fourrures peuvent être prolongées pour éviter la flexion dans les attaches.

Cas particulier (fig. 96); où la différence de hauteur des deux parties assemblées est suffisante pour permettre un dispositif qui évite l'emploi de fourrures.

5,156 21...

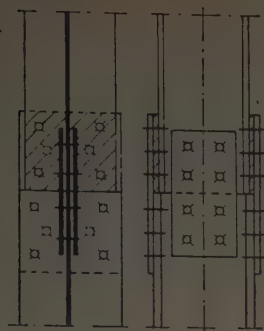


FIG. 95.

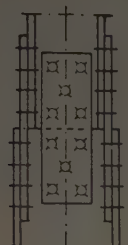


FIG. 96.

— 22 Type d'assemblage qui complique inutilement l'usinage (fig. 97).

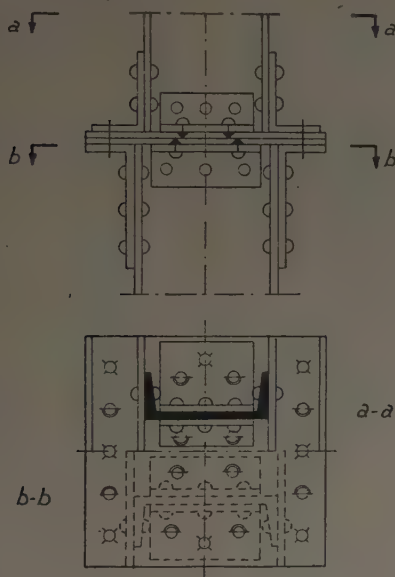


FIG. 97.

— 3 Aboutement boulonné d'un poteau double constitué par deux profilés I en construction rivée (fig. 98).

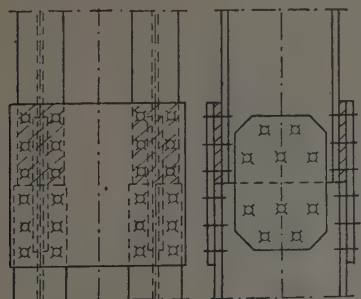


FIG. 98.

5,16 PIEDS ET TÊTES DE POTEAUX

5,161 Pieds de poteaux.

— 1 Généralités.

— 11 Les pieds de poteaux ont le rôle de répartir l'effort normal et, s'il y a lieu, le moment d'encastrement du poteau sur une surface suffisante de la fondation de manière à ne pas dépasser les contraintes admissibles de celle-ci. Ils sont en outre généralement munis d'un dispositif d'ancrage du poteau.

— 12 Dans la plupart des cas, les efforts du poteau doivent pouvoir être entièrement ou en partie transmis à la plaque d'appui par appui direct. Toutefois lorsque la transmission totale ou d'une fraction trop importante de l'effort par appui direct du poteau sur la plaque d'appui donnerait lieu à des pressions locales inadmissibles sur la fondation, on doit assurer une transmission des efforts par des pièces de liaison qui répartissent mieux les pressions (fig. 99).

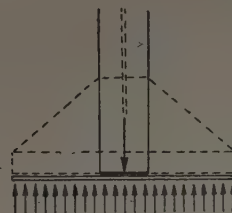


FIG. 99.

— 2 Pieds de poteaux articulés.

Ces pieds doivent permettre la transmission bien centrée de l'effort normal, tout en ne présentant aucun encastrement (ou un encastrement aussi réduit que possible) dans le plan de l'articulation. Toutefois pour les efforts modérés, on peut admettre des dispositifs simplifiés.

— 21 EXEMPLES :

Pied de poteau considéré comme articulé, pour un effort normal pas très important (fig. 100). La plaque d'appui ne doit pas être trop large dans le sens de l'articulation et les boulons d'ancrage sont placés dans l'axe de cette plaque, afin de réduire l'effet d'encastrement.

Pied de poteau articulé, en construction soudée dans un cas où on veut assurer une articulation réelle (fig. 101). L'appui sur la fondation se fait par l'intermédiaire d'un tronçon de poutrelle H. Il est important de renforcer et de raidir suffisamment l'âme de cette poutrelle.

Même nœud en construction rivée (fig. 102).

Pied articulé d'un poteau composé (fig. 103).

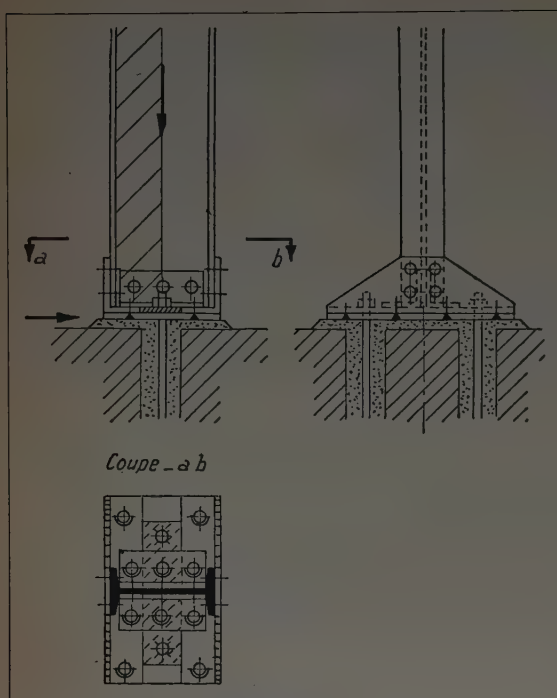


FIG. 100.

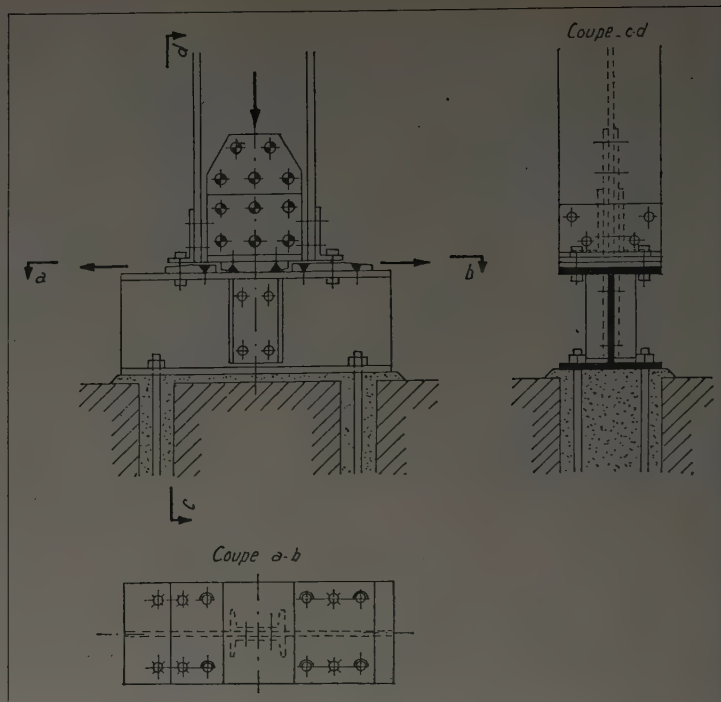


FIG. 102.

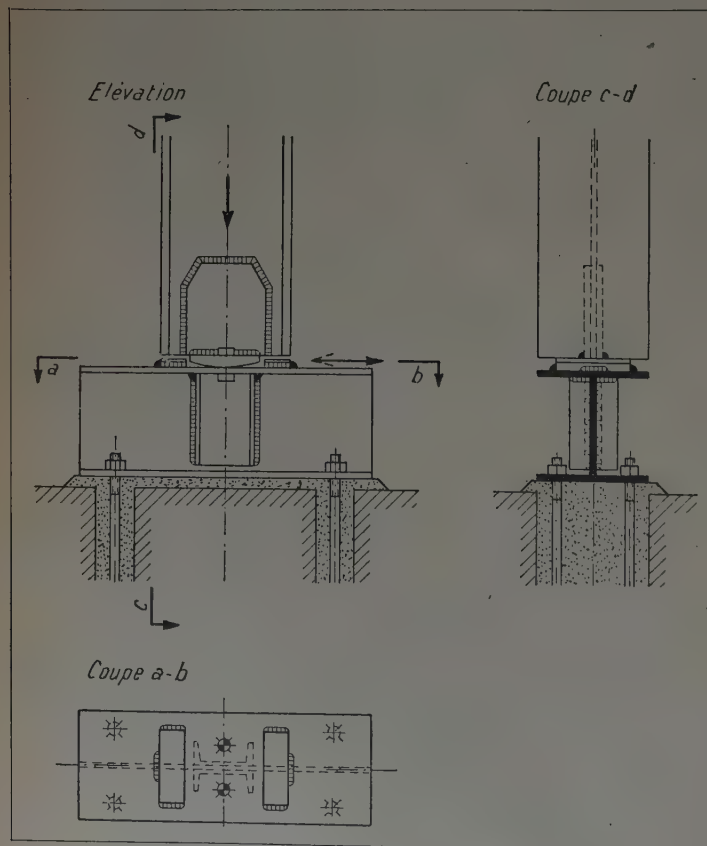


FIG. 101.

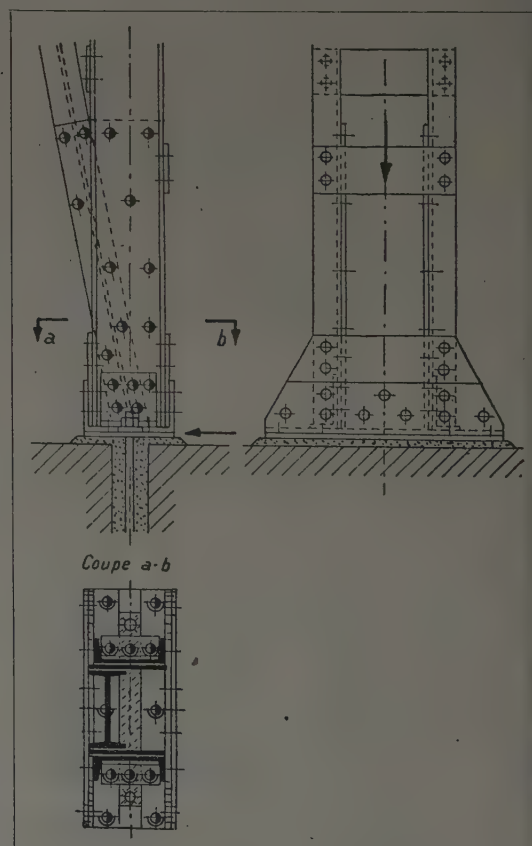


FIG. 103.

5,161 22 Le calcul de ces pieds de poteaux est simple. Selon le type de construction adopté, on transmettra la totalité de l'effort par la rivure aux pièces d'appui (plaques, cornières, etc.) ou bien l'effort sera partiellement transmis par appui direct du poteau dont la surface terminale devra alors être dressée. Les rivures d'attache seront alors calculées pour ces mêmes efforts.

5,161 3 Pieds de poteaux encastrés.

L'encastrement est réalisé au moyen de boulons d'ancrage qui attachent la plaque d'appui.

— 31 EXEMPLES :

— Poteau constitué par une poutrelle H, en construction soudée (fig. 104).

— Poteau en construction rivée (fig. 105).

— Poteau à treillis (fig. 106).

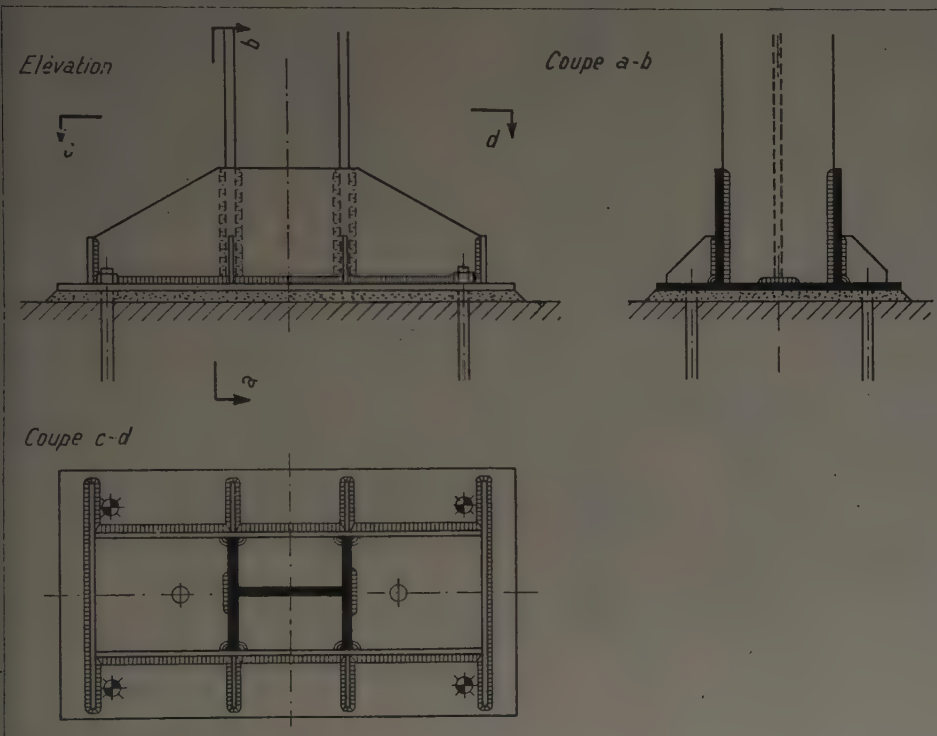


FIG. 104.

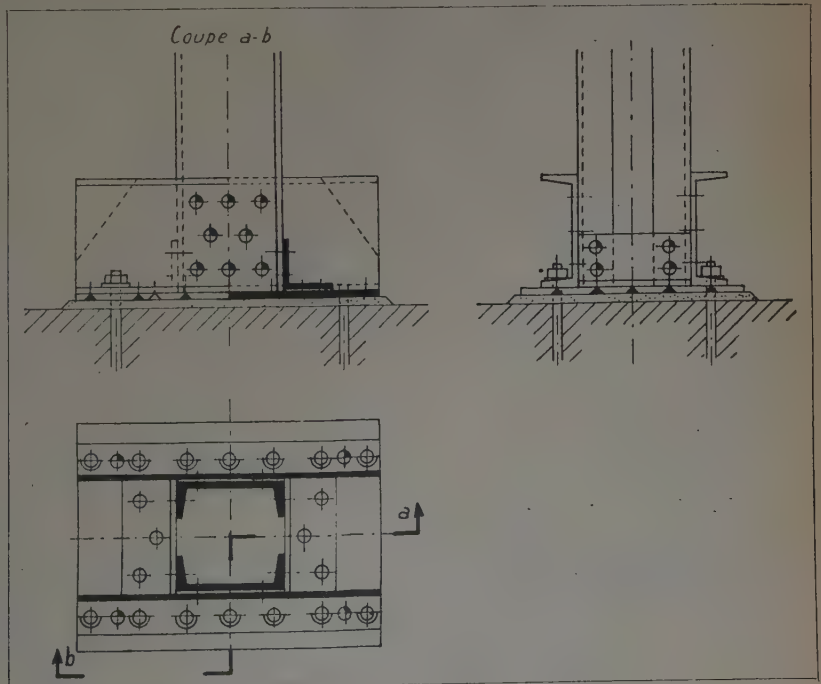


FIG. 105.

5,161 32 Le calcul des pieds de poteaux encastrés comprend :

Le calcul de la plaque d'appui basé sur la pression admissible sur le bloc de fondation;

Le calcul des boulons d'ancrage, pour le moment d'encastrement;

La vérification de toutes les sections dangereuses et des soudures ou rivures, pour les sollicitations correspondant au mode de travail de l'assemblage en question.

Remarque :

Des exemples complets de calcul de pieds de poteaux encastrés seront donnés au titre 4 (éléments constitutifs des constructions métalliques).

— 4 Pieds de poteaux des bâtiments à étages.

Ces pieds de poteaux sont souvent d'une forme caractéristique, différente des cas indiqués en 5,161 2 et 3. Ils sont surtout caractérisés par la plaque d'appui qui est de forme carrée ou rectangulaire mais dont le rapport des côtés ne dépasse pas 1 : 1,5.

— 41 Nous donnons ci-après quelques exemples typiques :

— Poteau constitué par une poutrelle H, en construction soudée (fig. 107).

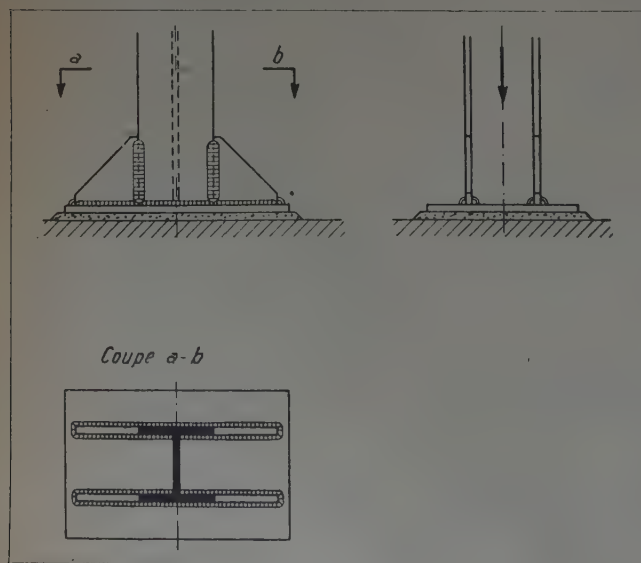


FIG. 107.

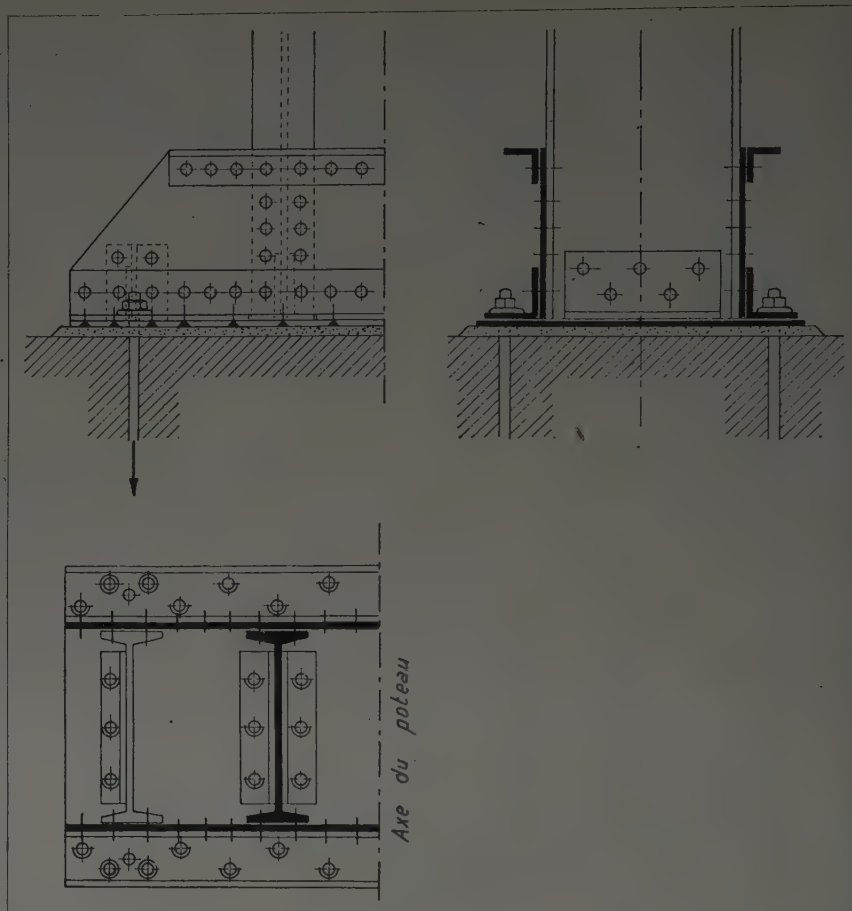


FIG. 106.

— Pied du même poteau, en construction rivée (fig. 108).

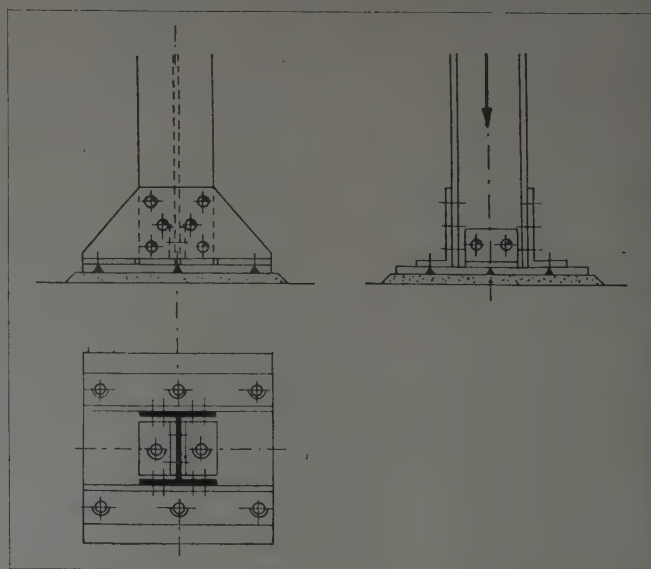


FIG. 108.

5,161 41...

— Pied de poteau constitué par deux poutrelles I (fig. 109).

5,170...

Des assemblages articulés (ou considérés comme tels) avec transmission de l'effort tranchant seulement.

Des assemblages encastrés avec transmission aux poteaux de l'effort tranchant et du moment de flexion des poutres.

L'exécution de ces nœuds peut présenter l'un des cas suivants :

- Continuité des poutres;
- poteaux;
- poutres et des poteaux.

5,171 Nœuds articulés (ou considérés comme tels).

Ces nœuds peuvent être exécutés :

- Par libre appui sur cornières ou plaques d'appui;
- Sous forme d'appuis centrés sur poteaux;
- Par assemblage de l'âme seulement.

— 1 Les nœuds réalisés par simple appui des poutres sur une plaque d'appui ou sur une cornière correspondent aux assemblages du même genre que ceux indiqués pour les poutres (voir « Assemblages des poutres » 5,132 1 et 2 et fig. 60-68).

— 2 Nœuds à appuis centrés sur poteaux :

On distingue deux cas :

- Poteaux interrompus.
- Poteaux continus;

— 21 APPUIS CENTRÉS SUR PÔTEAUX CONTINUS.

On peut aisément réaliser un appui centré sur un poteau double (deux profilés U ou I). Ci-dessous quelques exemples :

— Plaque d'appui soudée aux âmes des deux éléments du poteau (fig. 110). Appui rigoureusement centré, construction simple. Calcul des soudures pour simple cisaillement.

Les deux plaques horizontales soudées à la plaque d'appui ont le rôle de fixer la poutre dans sa position par boulonnage. Elles sont placées 4 ou 5 mm en dessous du bord d'appui, pour assurer la transmission directe de la réaction d'appui à la plaque, tout en permettant une légère flexion de la poutre.

— Appui sur un tronçon de poutrelle attaché par rivetage entre les deux éléments du poteau (fig. 111). Pour une largeur des ailes jusqu'à 100 mm environ, l'appui peut être considéré centré. Au delà de cette limite, on devrait considérer dans le calcul du poteau l'excentricité qui résulte de l'hypothèse d'un appui sur le bord d'une aile. Le moment de flexion est alors $M = Td$.

— Appui sur tronçon de poutrelle I coupé, pour assurer un meilleur centrage (fig. 112). Précaution excessive, travail inutile, mauvaise utilisation de la section.

— Appui sur deux profilés en U avec une fourrure (fig. 113). Transmission irréprochable de la réaction

5,162 Têtes de poteaux.

Quelques formes de têtes de poteaux sont indiquées dans les figures 115 à 119 (voir 5,171 22).

Remarque :

D'autres exemples se trouveront dans le chapitre concernant les poteaux.

5,17 LES NŒUDS D'OSSATURES DES BÂTIMENTS A ÉTAGES

5,170 Généralités.

L'ossature métallique d'un bâtiment à étages se compose de planchers et poteaux, auxquels s'ajoutent éventuellement des contreventements verticaux ou horizontaux, dans la mesure où l'effet du vent n'est pas supporté par des cadres rigides ou par les murs et les planchers.

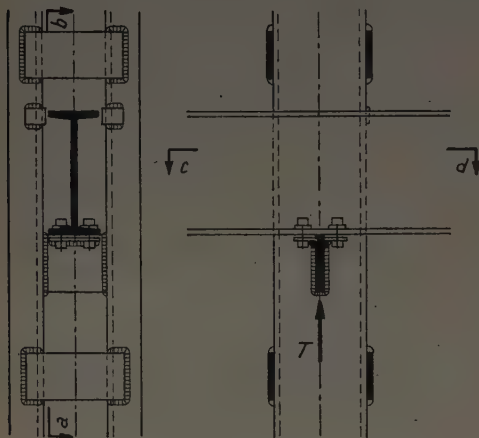
Le problème essentiel de ce genre de constructions, c'est l'assemblage des poutres aux poteaux. On distingue en principe pour ce genre de nœuds :

FIG. 109.

5,171 21...

d'appui, mais cette solution nécessite plus d'opérations d'usinage que pour un seul tronçon de profilé en I. Le

Coupe a-b



Coupe c-d

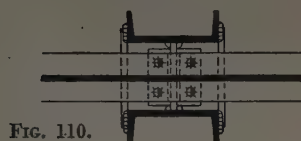


FIG. 110.

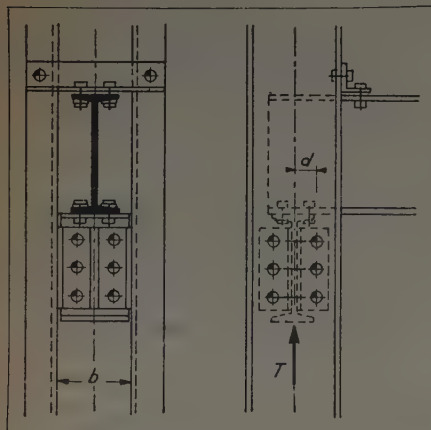


FIG. 111.

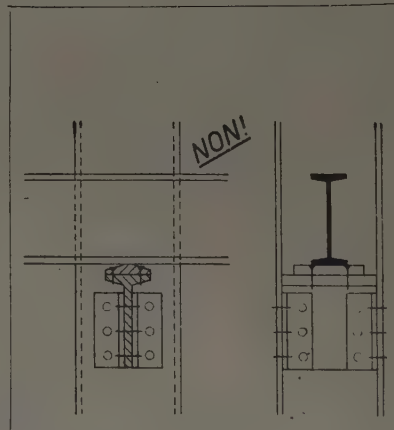


FIG. 112.

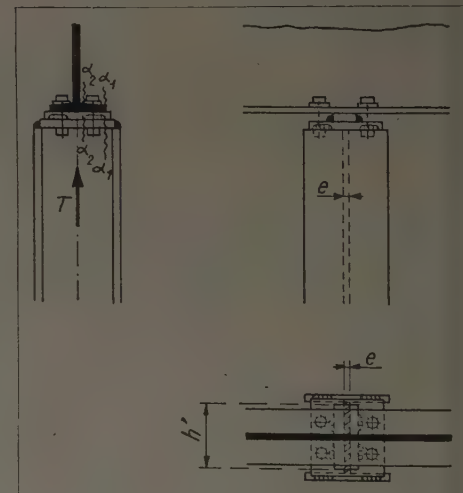


FIG. 115.

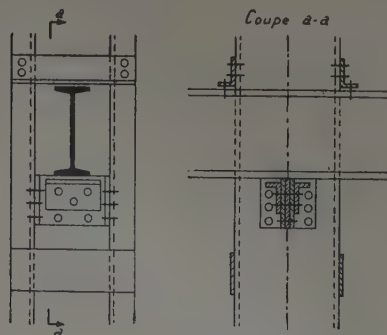


FIG. 113.

5,171 21...

bord d'appui doit être dressé après assemblage des deux U avec la fourrure.

— Mauvaise disposition de l'appui (fig. 114). La réaction d'appui sera toujours concentrée d'un seul côté et donne dans le poteau le moment de flexion parasite $M = Td$ sans compter un éventuel effet d'ancrage par les boulons du côté opposé.

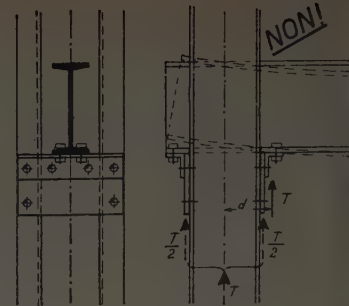


FIG. 114.

— 22 APPUIS CENTRÉS SUR POTEAUX INTERROMPUS.

— Appui sur la tête d'un poteau en H (fig. 115). L'âme du poteau doit pouvoir supporter la pression directe.

$$p = \frac{T}{eh'} \leq 2R.$$

Sont encore à vérifier les sections $\alpha_1\alpha_1$ et $\alpha_2\alpha_2$.

— Cas similaire au précédent, mais où la poutre est elle-même en H (fig. 116). L'appui se fait non seulement sur l'âme, mais aussi sur les ailes du poteau. On a donc :

$$p = \frac{T}{eh' + 2e_1L} \leq 2R.$$

Vérification de la section $\alpha\alpha$:

$$M = (e_1Ld_1 + ebd_2)p.$$

En supposant le moment de flexion distribué sur une longueur de l'aile :

$$l = L + 2 \times 3d$$

où d est la distance de la section $\alpha\alpha$ au point d'application de la résultante des pressions qui donnent ce moment, on obtient :

$$\frac{I}{v} = \frac{e'l}{6} \quad \text{et} \quad n = \frac{M}{\frac{I}{v}} \leq R.$$

5.171 22...

Une solution préférable est de mettre un raidisseur qui évite la flexion de l'âme.

— Tête d'un poteau composé de 2 U (fig. 117). Plaque d'appui (d'environ 5 mm d'épaisseur) soudée sur la tête du poteau. La transmission de l'effort se fait par une plaque d'une manière analogue à la disposition indiquée sur la figure 94.

— Appui constitué par un tronçon de poutrelle I, attaché au poteau au moyen de quatre cornières rivées (fig. 118). La transmission de la réaction d'appui n'est pas rigoureusement centrée. Le poteau doit être calculé avec l'excentricité a , qui donne le moment de flexion $M = Ta$.

— Tronçon de poutrelle d'appui disposé parallèlement à la poutre (fig. 119). Dans ce cas une plaque de centrage est nécessaire. Deux cornières attachées au poteau ont le rôle de maintenir, au moyen de boulons, la poutre dans sa position. Si le tronçon de poutrelle est assez long pour permettre d'y attacher la poutre directement, les cornières deviennent inutiles.

Dans les deux exemples précédents, la surface d'appui sera disposée à environ 5 mm au dessus du bord des profils du poteau, afin d'éviter la transmission directe de la réaction d'appui à un seul de ces profils.

3 Assemblage des poutres aux poteaux par liaison de l'âme seulement (nœuds considérés comme non encastrés).

Ces assemblages sont analogues aux assemblages du même genre pour les poutres (voir « Assemblage des poutres », 5.132, 3, fig. 69 à 74).

Il est surtout à remarquer que, dans le cas d'un poteau en H, il convient de disposer le poteau de manière à assembler la poutre à l'âme et non aux ailes du poteau, pour éviter toute excentricité de l'appui. S'il y a, dans les deux sens, des poutres à attacher au poteau, c'est d'après la poutre principale que l'on doit se guider (fig. 120).

Il est également important à remarquer que, lorsqu'il s'agit de la transmission de l'effort tranchant seulement, on ne doit jamais souder la poutre directement au poteau car, à cause de la rigidité d'un pareil assemblage, la flexion de la poutre produit inévitablement un moment d'encastrement important. A cause de ce moment, qui ne devrait pas être transmis au poteau, il se produit un des deux phénomènes suivants :

— Si l'assemblage est calculé pour transmettre l'effort tranchant seulement, il risque de céder sous l'effort d'encastrement (fig. 121).

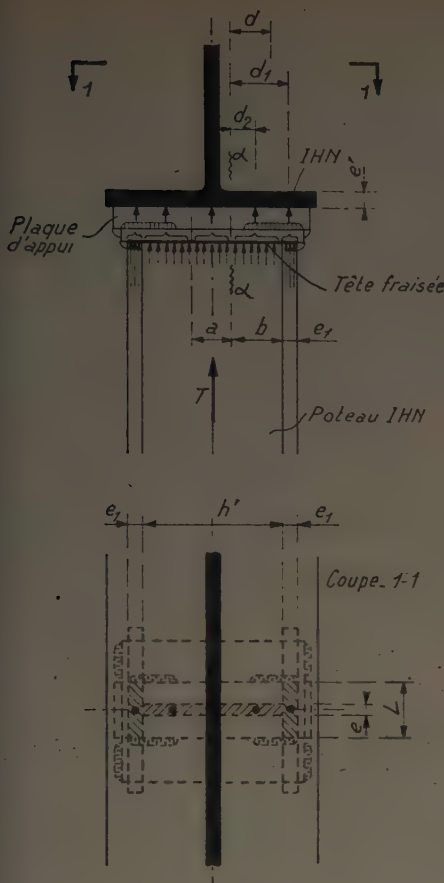


FIG. 116.

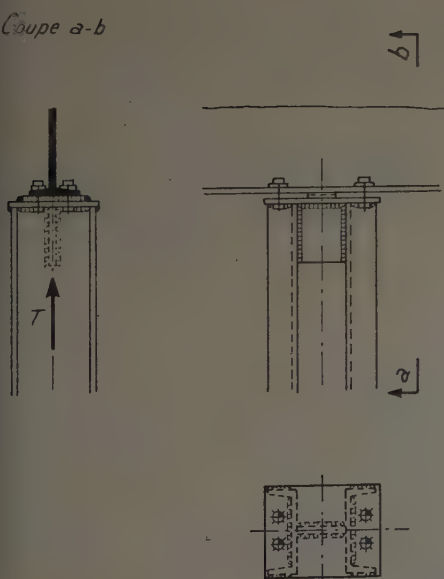


FIG. 117.

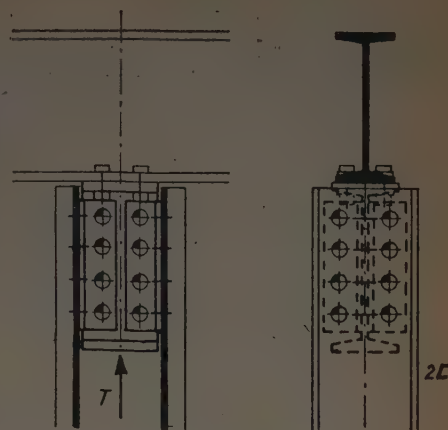


FIG. 118.

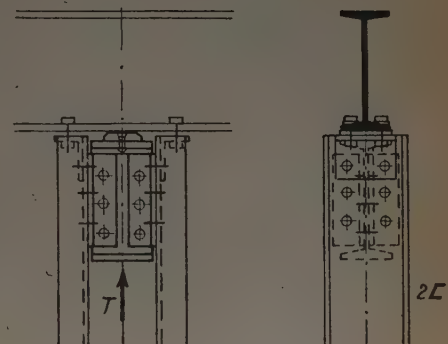


FIG. 119.

5,171 3...

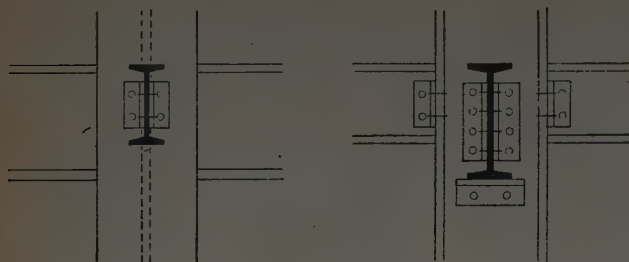
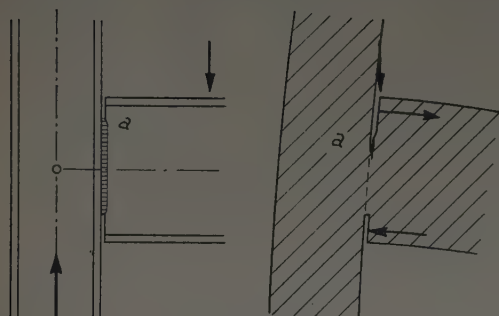
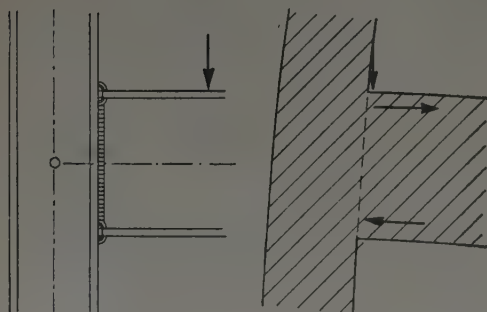


FIG. 120.



*Sollicitation dangereuse de la soudure
Effet d'entaille au point „a“*

FIG. 121.



Sollicitation supplémentaire du poteau

FIG. 122.

— Si l'on exécute des soudures supplémentaires pour éviter le premier inconvénient, le poteau sera sollicité par un moment de flexion important, pour lequel il n'est pas dimensionné (fig. 122).

5,172 Les nœuds encastrés.

— 1 En principe ces nœuds peuvent être exécutés comme suit :

— 11 PREMIER CAS : Poteau en profilé II ou II et poutre constituée par un seul I ou H passant entre les profilés du poteau.

Ce système est fréquemment employé. Il permet la continuité des poutres et des poteaux et donne la possibilité d'une construction aisée et extrêmement claire de l'encastrement. Le seul inconvénient est que les poteaux composés demandent un usinage beaucoup plus important que ceux constitués par un seul H .

— 12 DEUXIÈME CAS : Poteau constitué par un seul H et poutre en II ou II placés des deux côtés du poteau. Ce système permet le même genre d'encastrement que le cas précédent et offre l'avantage d'un poteau continu constitué par un seul H , ayant un minimum d'usinage. Il est toutefois généralement à rejeter à cause des inconvénients de la poutre double, qui est plus lourde et a une flèche bien supérieure à celle d'un profilé unique en I ou H .

— 13 TROISIÈME CAS : Poteau en un seul H et poutre en un seul I ou H . Ce système est très avantageux du point de vue de l'usinage des poutres et des poteaux et permet pour les deux d'utiliser les sections avantageuses en I . Son inconvénient est que les assemblages sont difficiles à réaliser et on est souvent forcé de recourir à des constructions compliquées ou alors inférieures du point de vue de l'encastrement.

Dans ce cas, une des deux pièces (la poutre ou le poteau) doit être interrompue :

Si la poutre est interrompue, des assemblages spéciaux sont nécessaires pour la transmission du moment.

Si le poteau est interrompu, il y a des difficultés pour transmettre l'effort axial d'un étage à l'autre.

— 19 Il appartient au projeteur d'apprécier, pour chaque construction, les avantages et les inconvénients de tous ces systèmes d'assemblages et de faire son choix pour obtenir la solution la plus convenable du point de vue de la résistance, de l'exécution et de l'économie.

— 2 Exemple de nœud encastré.

— Nœud à encastrement complet correspondant au cas 5,172 11 (fig. 123). Le moment d'encastrement qui peut prendre des valeurs positives ou négatives est supporté dans chacun de ces deux cas par deux plaques d'appui qui donnent un couple de forces correspondant au moment.

La transmission des efforts est très claire. Le montage se fait sans difficulté.

D'autres exemples se trouveront avec leur calcul complet au chapitre 6,24.

5,172 2...

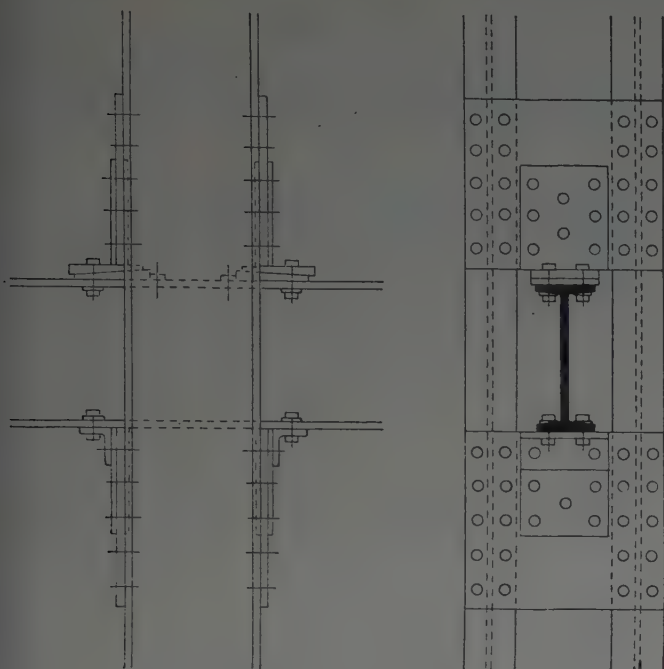


FIG. 123.

5,2 COMMENTAIRE GÉNÉRAL SUR LES ASSEMBLAGES

5,21 PRINCIPES GÉNÉRAUX

5,211 Conception.

— 1 La disposition générale ainsi que le calcul et le choix des sections sont les éléments fondamentaux de toute construction métallique, mais le facteur décisif de la qualité d'une construction qui demande toute l'attention du projeteur, c'est surtout le détail des assemblages.

— 2 Le mode d'assemblage ne se détermine pas par le calcul. Il est le fruit de la conception du projeteur et doit correspondre aux caractéristiques de la construction et aux conditions de résistance, ces dernières devant être vérifiées par le calcul.

La simplicité de conception est à rechercher dans le choix des dispositifs d'assemblage, car elle permet de réaliser clairement la transmission des efforts, de calculer plus exactement et d'utiliser au maximum les matériaux.

5,212 Dimensionnement.

— 1 Les assemblages doivent être dimensionnés pour supporter tous les efforts qui peuvent les solliciter dans toutes les hypothèses.

5,212 2. La vérification des assemblages se fait en suivant la transmission de chaque effort par chaque pièce, rivet ou autre détail, à partir du point d'application de cet effort et jusqu'à son absorption par un élément principal situé au delà de l'assemblage considéré (ou par les fondations).

— 3 La résistance d'un assemblage (et, en général, d'une construction) est celle de son point le plus faible. Il est donc souhaitable de réaliser le même degré de sécurité pour tous les éléments, toute augmentation partielle ou locale du degré de sécurité étant inutile et même parfois nuisible.

5,213 Conditions d'exécution.

— 1 L'exécution de chaque détail, ainsi que celle de l'ensemble, doit être prévue conformément au principe du maximum d'économie pour un degré de sécurité donné. Le maximum d'économie ne coïncide pas nécessairement avec le minimum de poids. On doit en même temps rechercher la simplicité d'exécution et l'économie de main-d'œuvre, la solution la plus simple étant très souvent la meilleure.

— 2 La forme et la disposition des assemblages doivent permettre une exécution aussi facile que possible et présenter des conditions satisfaisantes d'accessibilité pour les opérations de soudage ou rivetage et ultérieurement d'entretien. Le projeteur devra tenir compte du mode de montage dans la conception de l'assemblage.

5,214 Efforts secondaires.

— 1 Les assemblages doivent être conçus de manière à réduire au minimum possible les efforts parasites, tels que : efforts secondaires dans les systèmes réticulés, effets de torsion dus à la transmission excentrée des efforts, tensions triaxiales dans les assemblages soudés, etc.

— 2 Il n'existe pas dans les constructions métalliques d'encastrement rigoureusement complet ni d'articulation parfaite car il existe toujours au moins des déplacements d'adaptation, des glissements, etc., dans les encastrements, ainsi que des frottements ou même une certaine rigidité intrinsèque des articulations. L'hypothèse d'encastrement total ou d'articulation parfaite n'est qu'une simplification pour le calcul, admissible dans les limites normales d'approximation, caractéristiques pour la construction en question.

5,215 Remarques générales.

— 1 Les formes d'assemblages sont d'une variété infinie. On ne peut donc fixer des types exclusifs d'assemblages. On peut seulement énoncer des principes, illustrés par des exemples d'application, la solution devant être trouvée dans chaque cas particulier par le projeteur, en fonction des caractéristiques de la construction et du progrès des règles de l'art.

5,215 2 Il ne peut exister de règlement, d'instruction ou de manuel, si parfait soit-il, qui donne au projeteur la possibilité d'exécuter un dessin sans que les règles et indications fournies soient interprétées sur la base du jugement personnel, de l'expérience professionnelle et du bon sens technique du projeteur.

5,22 COMPARAISON ENTRE LES ASSEMBLAGES SOUDÉS ET LES ASSEMBLAGES RIVÉS OU BOULONNÉS (Voir également en 3,1).

5,221 Dans la conception d'un assemblage on doit tenir compte des caractéristiques du moyen assemblage adopté.

— **1** On doit choisir la forme logiquement la plus indiquée qui découle du mode de transmission des efforts par les organes de liaison (soudures, rivures ou boulons). Il en résulte que les assemblages soudés permettent plus de liberté que les assemblages rivés ou boulonnés dans la position, l'une par rapport à l'autre, des pièces à assembler.

Ceci permet de supprimer la plupart des pièces intermédiaires de liaison. Il en résulte en construction soudée des assemblages plus simples et plus légers que ceux rivés ou boulonnés.

— **2** Il faut également adopter les dispositifs nécessaires pour assurer la même sécurité dans toutes les sections de rupture possible, compte tenu des sollicitations caractéristiques du moyen d'assemblage choisi.

Pour les assemblages soudés, il faut tenir compte de l'existence et l'importance probables des contraintes internes dans les soudures. Pour les assemblages rivés il faut tenir compte du mode de transmission des efforts par les rivets ou boulons et des encastresments parasites possibles.

Il en résulte pour un même assemblage des solutions entièrement différentes en soudé et en rivé ou boulonné.

— **3** Les dimensions doivent correspondre au rapport entre les contraintes admissibles des pièces assemblées d'une part et celles des organes de liaison d'autre part.

Les contraintes admissibles dans les assemblages dépendent évidemment de la nature des matériaux constitutifs des pièces assemblées et des organes de liaison. Pour les assemblages soudés, ces contraintes dépendent largement (et bien plus pour les assemblages rivés ou boulonnés) du procédé et des conditions d'exécution.

5,222 Le calcul de tout assemblage a pour but de vérifier la résistance et la sécurité atteintes dans toutes les sections de celui-ci. Il en résulte une égale nécessité de

5,222...

vérification pour tous les assemblages qu'ils soient soudés, rivés ou boulonnés.

Les assemblages soudés ont toutefois, par rapport aux autres, une transmission souvent plus simple et plus claire des efforts principaux, qui permet un calcul simple.

5,223 L'exécution, dans de bonnes conditions, d'un assemblage soudé nécessite un personnel rigoureusement spécialisé, car la qualité, et donc la résistance de cette catégorie d'assemblages dépend beaucoup de l'exécution, les défauts étant moins décelables qu'en rivé ou boulonné.

L'application du soudage peut conduire en outre à une réduction des opérations d'usinage par rapport aux autres procédés bien que le soudage même constitue un problème plus délicat que les autres moyens d'assemblage, tant pour la conception des assemblages que pour leur exécution.

5,224 Les assemblages soudés sont par leur nature, plus rigides que les assemblages rivés ou boulonnés, qui permettent une meilleure adaptation.

5,225 Les assemblages boulonnés sont, par leur forme, comparables aux assemblages rivés.

5,226 Les assemblages soudés sont généralement d'un aspect plus net et peuvent mieux correspondre aux exigences esthétiques de l'ouvrage.

5,23 ASSEMBLAGE SUR CHANTIER

5,231 L'assemblage sur chantier se fait dans des conditions généralement plus défavorables qu'à l'atelier.

Ceci peut être dû aux facteurs suivants :

Outillage inférieur à celui disponible à l'atelier;

Accessibilité et position de travail souvent moins commodes.

Ces facteurs influent sur le prix de revient et peuvent abaisser la qualité de l'assemblage.

5,232 Le nombre et l'importance des assemblages sur chantier doivent donc être réduits dans la mesure où les conditions de transport et de montage le permettent.

5,233 Les assemblages sur chantier doivent être conçus de manière à permettre un montage facile tout en assurant la transmission des efforts nécessaires et à réduire le risque d'avaries au cours du transport.

5,234 Dans certains cas de constructions non soumises à des efforts dynamiques importants, on pourra boulonner ces assemblages dans les constructions soudées ou rivées afin d'éviter le soudage ou le rivetage sur chantier.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

Réunie en Mai 1949. — Fascicule n° 27.

SOMMAIRE

I. — Index analytique de documentation	Pages. 206	II. — Bibliographie	Pages. 223	III. — Normalisation	Pages. 224
--	------------	---------------------------	------------	----------------------------	------------

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'Index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilm, ou en positifs sur papier photographique.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques :

Microfilms : la bande de 5 images (port en sus)	75 fr.
Positifs sur papier : la page (port en sus) :	
Format 9 × 12	49 fr.
13 × 18	65 fr.
18 × 24	79 fr.
21 × 27	132 fr.

Ces prix sont susceptibles de variation.
Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 28, boulevard Raspail, Paris-VII^e.

TABLE DE L'INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

ANNÉES 1948 et antérieures : Se reporter au fascicule 20 bis de *Documentation Technique*.
ANNÉE 1949 : Se reporter à la table récapitulative parue dans le fascicule 24 de *Documentation Technique*.
La prochaine table récapitulative paraîtra dans le fascicule 30 bis de *Documentation Technique*.

SIGNIFICATION DES REPÈRES

PLACÉS EN FIN D'ANALYSE DE L'INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION CI-APRÈS :

- (◇) Analyses ou traductions effectuées par l'Institut technique du Bâtiment et des Travaux Publics (dont la bibliothèque détient le document original).
- (*) — — — par les services du Centre national de la Recherche Scientifique, 18, rue Pierre-Curie, Paris-V^e.
- (○) — — — par la S. N. C. F., 27, rue de Londres, Paris-IX^e.
- (●) — — — par l'Office central de l'Acétylène et de la Soudure autogène et de l'Institut de soudure autogène, 32, boulevard de la Chapelle, Paris-XVIII^e.
- (+) — — — par les services chargés de l'établissement du Library Bulletin du Ministry of works (Angleterre).
- (■) — — — par l'Électricité de France, 3, rue de Messine, Paris-VIII^e.
- (□) — — — des revues communiquées par le Centre d'Information et de Documentation du Bâtiment, 100, rue du Cherche-Midi, Paris.
- (◆) — — — d'articles provenant de sources diverses.

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du tome, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches (en fin d'analyse repère de référence).

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

1-27. Cours de statique graphique et résistance des matériaux. (Appliquées aux constructions métalliques, à l'usage des calqueurs et dessinateurs industriels.) PERLIN (F.-H.), Ed. Eyrolles, Paris (1949), 1 vol., 342 p., nombr. fig. — Notions pratiques de statique graphique, application au tracé de Crémone, à la détermination des centres de gravité, des moments fléchissants et des efforts tranchants. Méthode de Ritter. Moments d'inertie des sections usuelles. Étude de l'extension du cisaillement, de la compression, du flambage, de la flexion plane. Étude des pièces fléchies : consoles, poutres à appuis simples, poutres encastrées, poutres continues. Étude de la flexion oblique, de la flexion déviée, de la torsion. Charges dues au vent et à la neige. E. 6584 (◇).

THÉORIES ET PROCÉDÉS DE CALCUL ET DE REPRÉSENTATION

Théories générales.

2-27. Étude des contraintes et des déformations élastiques planes basée sur les propriétés des lignes isostatiques. HONDERMARCO (H.). Extrait : *Ann. Trav. Publ.*, Belgique (juin, août et oct. 1943), Univ. Liège. Ed., Goemaere, Bruxelles (1943), 1 vol., 99 p., nombr. fig., 7 pl. h. t. — Exposé d'une méthode de calcul des problèmes de l'élasticité, basée sur le choix d'une fonction représentative du champ des courbes isostatiques au moyen de la variable complexe $Z = x + iy$. La 1^{re} partie du mémoire contient les propositions théoriques qui sont la base de la méthode. La 2^e partie est consacrée aux applications. E. 6019 (◇).

3-27. Étude expérimentale de la flexion dans les pièces en béton armé. Théorie élasto-plastique et méthode de calcul à coefficient de sécurité constant. CHAMBAUD (R.), *Ann. Inst. Techn. B. T. P.* (févr. 1949), n° 61, 35 p., 26 fig. — Objet de l'étude, notations employées, description des essais et résultats obtenus sur 82 poutres rectangulaires de compositions diverses et sur lesquels est basée la théorie proposée. Examen de la dispersion et analyse statique. Résultats obtenus, plans d'évaluation du module d'élasticité du béton et comment ont été mesurées les déformations. En ce qui concerne la théorie : bases expérimentales et développement algébrique. Comparaison des résultats expérimentaux et théoriques et application à la détermination du coefficient de sécurité réel en flexion par comparaison avec la méthode classique. Critique de la théorie classique et recherche d'une méthode rationnelle. Proposition d'une méthode de calcul pour les sections rectangulaires en flexion simple. E. 6110 (◇).

Procédés de calcul et de représentation.

4-27. Note sur le calcul des tensions dans les sections du béton armé soumises à la flexion plane composée. MULSGUINOTTE (F.). *Tech. Trav.* (janv. 1937), n° 1, p. 51-55, 8 fig. — Exposé d'une méthode graphique simple permettant de déterminer sans tâtonnements la fibre neutre d'une section soumise

à la flexion plane composée, et les contraintes de la section. E. 6145 (◇).

5-27. Stabilité des constructions. Ossatures à nœuds rigides. Méthodes pratiques de calcul. GEMINARD (L.). *Travaux* (mai 1949), n° 175, p. 213-218, fig. — Dans cette seconde partie, exposé des bases théoriques de la méthode d'approximations successives dite de Hardy-Cross; applications à des portiques. E. 6240 (◇).

6-27. Le facteur de fréquence est appliqué aux calculs des contraintes dues aux surcharges des ponts pour routes à grand trafic (Frequency factor is applied to highway bridge live-load stress computations). BOWSER (Cl. D.), *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 51, 80, 1 fig. — Pour le calcul des contraintes dues aux surcharges, il est plus exact de tenir compte de la grande fréquence de passage des véhicules. Les différentes parties d'un même pont peuvent être affectées de facteurs de fréquence différents. La détermination des facteurs de fréquence doit dépendre du nombre total de passages au cours de la durée estimée du pont. Formules pour la détermination des cycles. Application. Comparaison avec la méthode dite « de la règle du pouce ». E. 6166 (◇).

7-27. Étude de l'influence du poids propre sur la stabilité d'une plaque rectangulaire. FAVRE (H.), *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (15 janv. 1949), n° 3, p. 34-35, 1 fig. — Étude du flambement d'une plaque rectangulaire verticale articulée sur son pourtour sous l'action de son poids et d'une surcharge verticale uniforme agissant sur le côté supérieur. Mise en équations par la méthode de l'énergie de Timoshenko. Résolution par approximations successives. Première approximation. E. 5137 (◇).

8-27. Calcul simplifié des piliers extérieurs et intérieurs formés d'éléments porteurs assemblés d'après le § 28 des prescriptions concernant le béton armé (Vereinfachte Berechnung der Rand- und Innensäulen von rahmenartigen Tragwerken in Anlehnung an § 28 der Stahlbetonbestimmungen). BAHRING (W.), *Bauplan. Bautech.*, All. (janv. 1949), vol. 3, n° 1, p. 17-20, 20 fig. — Du fait qu'on néglige les moments des forces qui s'exercent sur les piliers intérieurs, et par suite de l'évaluation sommaire des moments sur les piliers intérieurs, les calculs relatifs à ces éléments sont entachés d'erreurs grossières. Exposé des méthodes permettant d'effectuer le calcul correctement et d'une manière simple. Exemples. E. 5502 (◇).

9-27. Abaques pour le calcul des barres fléchies dans le domaine élastique et dans le domaine plastique. BOKLEN; *Bauplan. Bautech.*, All. (4 avr. 1948), n° 2, p. 117-119, 2 fig. — Difficulté du calcul des profilés dans le domaine élastique avec des sections asymétriques et dans le cas de déformation plastique des fibres extrêmes. Simplification et calcul graphique dans le cas de la flexion pure, sans cisaillement, avec une déformation circulaire de la fibre neutre et pour un matériau présentant des résistances égales en traction et en compression. Abaques donnant les relations entre la limite élastique, le module d'élasticité, la flèche, le moment et la courbure (pour une corde donnée) pour des barres à sections : circulaire, carrée, en T, en U et pour des tubes ronds et rectangulaires. E. 6180, p. 889 (◇).

10-27. Nouvelle méthode de calcul du béton armé (En ny beräkningsmetod för armerad betong). GRANHOLM (H.); *Chalmers Tekniska Högskolas*, Suède (1944), n° 38, 88 p., fig. (résumé anglais, p. 87). — Exposé d'une nouvelle méthode de calcul qui élimine le rapport modulaire « n », application aux poutres et dalles rectangulaires en béton soumises à un effort

de flexion. On démontre que le moment critique M d'une poutre ou d'une plaque peut se calculer par la formule :

$$\frac{M}{bh^2} \frac{l}{\sigma b^2} = p \left(1 - \frac{p}{2} \right) \text{ où } \sigma b' \cong (0,70 \text{ à } 0,80) \sigma \text{ cube.}$$

Contrôle de cette formule par résultats de nombreux essais de laboratoire poursuivis par différents chercheurs. L'équation est applicable jusqu'à une certaine limite de « p ». La méthode s'applique également aux constructions armées avec de l'acier à très haute résistance. Nouvelles méthodes pratiques pour le calcul d'éléments de béton et de section totale du fer d'armature. E. 6023 (◇).

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET COMPORTEMENT DE LA MATIÈRE

Domaine non élastique (rhéologie).

11-27. Nouvelles idées concernant la résistance des matériaux (Neue Wege der Festigkeitsrechnung). SIEREL (E.); *V. D. I., All.* (mai 1948), vol. 90, n° 5, p. 135-139, 23 fig. — Dans les calculs de résistance on s'impose généralement de ne dépasser en aucun point la limite élastique du matériau. Or, l'expérience montre que dans un cas fort simple, celui de la flexion d'une barre de section rectangulaire, la tension à la surface externe peut dépasser de 50 % cette limite sans qu'il en résulte de déformation permanente; les choses se passent alors comme si les fibres intérieures de la barre s'opposaient par leur adhérence à l'écoulement du métal des fibres plus voisines de la périphérie. Le même phénomène peut se produire dans tous les cas, très nombreux dans la pratique, où le matériau est soumis à des contraintes non uniformes par unité de section. On propose de substituer au critère de limite élastique, celui de limite de déformation et même d'admettre pour les parties les plus fatiguées une extension permanente de l'ordre de 0,2 %. Des diagrammes illustrent les expériences faites à ce sujet. E. 4460 (◇).

12-27. Le fluage et la relaxation à froid des fils d'acier tréfilés. STRYCKER (R. de); *Rev. Metall.* (oct. 1948), p. 411-414, 2 fig. — Étude technique du problème s'appliquant en particulier à la relaxation des fils de précontrainte du béton. Exposé détaillé des appareils de mesures utilisés pour le contrôle du fluage et de la relaxation dans le temps. Description des essais et conclusions à en tirer. E. 5799, p. 76 (○).

13-27. Fluage et relaxation. LAURENT (P.), EUDIER (M.); *Rev. Metall.* (oct. 1948), p. 415-418, 10 fig. — Étude théorique sur les phénomènes de fluage et de relaxation. Définition et corrélation des deux phénomènes. Calculs théoriques et méthodes de détermination des courbes de fluage et de relaxation. Essais et comparaison des résultats obtenus pour les deux phénomènes. E. 5799, p. 76 (○).

ESSAIS ET MESURES MÉCANIQUES

Technique d'exécution.

14-27. Pourquoi les ponts sont détruits par les crues (Why bridges fail in floods), POSEY (C. J.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 19, n° 2, p. 42, 90, 2 fig. — Des expériences ont été entreprises sur des maquettes par un groupe d'ingénieurs américains afin d'étudier l'action des courants autour des piles de ponts. L'originalité de la méthode réside dans le fait que les piles soumises aux essais étaient creuses et transparentes de façon à permettre d'effectuer les lectures de la profondeur de l'affouillement, de l'intérieur de la pile. La maquette de pile était enfoncée dans une couche de sable fin, dont il a été possible d'étudier ainsi les déplacements sous l'action du courant. Résultats obtenus. Autres essais en cours. E. 6149 (◇).

GÉOPHYSIQUE

SURFACE DU GLOBE

Hydrographie.

15-27. Le mouvement de l'eau dans le sol. Nouvelles considérations sur le débit d'une nappe libre s'écoulant dans

un puits ou dans un drain. Le paradoxe de Dupuit et Hamel VIBERT (A.); *Génie Civ.* (1^{er} mai 1949), t. 126, n° 9, p. 160-165, 4 fig. — Exposé d'une solution améliorée du problème du puits et du problème du drain. Explication du paradoxe de Dupuit et Hamel qui avaient obtenu la même formule en partant d'hypothèses différentes. E. 6241 (◇).

CONDITIONS GÉNÉRALES

ÉTUDES ET CONCOURS, CONGRÈS, DOCUMENTATION

Associations, organisations, congrès, conférences, expositions, missions.

16-27. Erosion dans, ou sous les structures formant retenue pour l'eau (Erosion within or beneath water retaining structures); PRESCOTTHILL (H.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 1, 4 p. — Exposé très court et d'ordre général sur la question des renards. E. 5660, E. D. F., p. 59 (■).

17-27. Les affouillements en aval des barrages comme facteur dans l'étude des coefficients de sécurité contre la formation des renards (Tail-erosion as a factor affecting the safety coefficient against piping). ZAKI BEY (H.), LELIAVSKY BEY (S.), *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 4, 10 p., 4 fig. — Étude des affouillements en aval des barrages — méthodes de calcul nouvelles. Exemple d'un accident par affouillement. Utilité du battage de palplanches profondes à l'aval. E. 5660, E. D. F., p. 59 (■).

18-27. Dispositions les plus récentes pour empêcher la formation des renards. POSPISIL (J.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 9, 12 p., 5 fig. — Exemple de dispositions contre les renards prises au barrage de Pastviny fondé sur gneiss et schiste micacé avec faille disloquée. Étançonnement par bétonnage. Mesures d'observations. Résultats satisfaisants. E. 5660, E. D. F., p. 60 (■).

19-27. Dispositions les plus récentes pour empêcher la formation des renards. TERZAGHI (K.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 10, 11 p., rapport général. — Analyse des quinze rapports présentés sur la question des renards. Avis sur chacun. Établissement des points sur lesquels la discussion du Congrès devait porter et en particulier technique des injections d'argile, masques d'argile, puits filtrants, puits d'observation. E. 5660, E. D. F., p. 58 (■).

20-27. Hauteurs critiques pour le renard sous les barrages (Critical head for piping beneath weirs). BAZANT (Z.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 10, 8 p., 4 fig. — Relation d'une étude sur les renards faite à l'Institut des Fondations de la Haute Ecole Technique à Prague. Essais de détermination de la hauteur critique h_p (commencement du renard) suivant les dimensions de la base de la fondation 2 B et sa profondeur sous la surface du sable D. Établissement de diagrammes en fonction de 2 B et de $\frac{D}{2B}$. Il résulte des essais que l'expansion du sable précède le renard. E. 5660, E. D. F., p. 60-61. (■).

21-27. Enseignements résultant de l'utilisation des méthodes d'essai et de l'emploi des ciments spéciaux pour grands barrages. HELLSTROM (B.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 11, 19 p. (rapport général). — Résumé de vingt rapports présentés sur les méthodes d'essais de ciments pour grands barrages, les principes de normalisation des ciments spéciaux pour grands barrages, sujets divers. E. 5660, E. D. F., p. 22 (■).

22-27. Ciments spéciaux pour grands barrages (Special cements for large dams). LEA (F. M.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 11, 22 p., 12 fig. — Exposé des qualités à demander aux ciments spéciaux pour grands barrages. E. 5660, E. D. F., p. 22 (■).

23-27. Principes généraux pour une spécification de ciments spéciaux (General principles for a specification of special cements). HAKANSON (P.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 14, 8 p., 1 fig. — Résumé de l'enquête faite en 1938 par le « Sous-Comité International des ciments spéciaux pour Grands Barrages » (désormais appelé sous-comité International du béton pour Grands Barrages) en vue d'une étude de la normalisation des ciments spéciaux

pour grands barrages. Questions traitées : chaleur d'hydratation, résistance mécanique, temps de prise, absence de défauts, finesse, solubilité, retrait, cheminement, composition des ciments Portland, ciments à faible chaleur de prise autres que le Portland, perméabilité, aptitude de mise en œuvre. E. 5660. E. D. F., p. 23 (■).

24-27. **Expérience acquise dans l'utilisation du ciment à faible chaleur de prise** (Expérience in the use of low heat cement). DE VENABLES (F. de L.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 16, 9 p., 5 fig. — Exposé des résultats obtenus en Australie depuis 1935, en ce qui concerne les essais du ciment à faible chaleur de prise en vue de l'utiliser pour la construction d'un grand barrage sur le Warragamba. Emploi, à titre de recherches, de ce ciment dans différents ouvrages secondaires, notamment mise en œuvre au barrage de Woronora d'un ciment presque semblable à celui employé à Boulder dam. Compte rendu des résultats d'essais de béton. E. 5660. E. D. F., p. 23 (■).

25-27. **Moyen d'éviter les renards du barrage de Traryd** (Method of preventing piping at Traryd power plant). WERNER (P. W.), LJUNG (E.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 18, 12 p., 8 fig. — Description du barrage de Traryd en Suède fondé sur un rocher recouvert d'alluvions. Des renards survenus à l'aval ont nécessité un drainage complémentaire par puits filtrants collectant la partie principale de la nappe. E. 5660. E. D. F., p. 61 (■).

26-27. **Comparaison entre un ciment à faible chaleur de prise et un ciment standard** (Comparison between a low-heat and a standard cement). LOFQUIST (B.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 20, 24 p., 20 fig. — Exposé des recherches suédoises sur la tendance à la fissuration comparée des ciments standard et des ciments à faible chaleur de prise; avantage de ces derniers. E. 5660. E. D. F., p. 23 (■).

27-27. **Dispositions les plus récentes pour empêcher la formation des renards.** MAYER (A.); *III^e Congrès International Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 22, 21 p., 3 fig. — Méthodes étudiées aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics à Paris. Exposé des cas particuliers du batardeau-amont de Génissiat et de la digue du Lac Noir. Résultats obtenus. E. 5660. E. D. F., p. 62 (■).

28-27. **Dispositions pour empêcher la formation des renards.** DELATTRE; *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 23, 19 p., 11 fig. — Exposé de la méthode employée à la retenue de Génissiat pour empêcher la migration de particules du sol sur une forte pente de sable pendant la baisse. Recouvrement adopté. E. 5660. E. D. F., p. 62 (■).

29-27. **L'utilisation de la chaux de « Kankar » comme matériau de construction pour les gros ouvrages de génie civil** (The use of Kankar lime as building material for major engineering works). HOON (R. C.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 24, 41 p., 19 fig. — Le calcaire dit de « Kankar » est une forme naturelle de la chaux, très répandue dans l'Inde. Principalement composé de carbonate de calcium et de constituants argileux intimement mélangés, il se prête admirablement à la cuisson et donne un type de chaux prêt à l'emploi sous forme de mortier. E. 5660. E. D. F., p. 21 (■).

30-27. **Les ciments expansifs.** LOSSIER (H.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 25, 7 p. — Rappel du but poursuivi par l'auteur, depuis 1945 : « Provoquer le gonflement automatique du béton dans toutes les directions, puis utiliser son énergie expansive soit pour tendre des armatures métalliques, soit pour agir comme des vérins contre des maçonneries ou des terrains, soit de toute autre façon. » Une firme française produit aujourd'hui un ciment « légèrement expansif » et un ciment « expansif ». Constitution, caractéristiques et propriétés de ces ciments. Mode d'emploi. Exemples de travaux déjà effectués en France. Applications possibles aux barrages : compensation du retrait et des déformations, calage des ouvrages contre le rocher (barrages, conduites forcées, massifs d'ancrage, etc.). E. 5660. E. D. F., p. 24 (■).

31-27. **Emploi des ciments spéciaux pour barrages en France.** LANGAVANT (C. de); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 26, 11 p. — Utilisation du ciment de laitier. Étude de la fabrication du ciment sur le chantier même par broyage du laitier. Qualités du produit obtenu. Plus grande ouvrabilité, grande imperméabilité, haute résistance. E. 5660. E. D. F., p. 25 (■).

32-27. **Usage du ciment de laitier de haut fourneau pour les grands barrages en béton.** JUNTILA; *III^e Congrès*

Internat. Grands Barrages, Stockholm (1948), n° 30, 2 p. — Compte rendu sommaire des recherches entreprises en Finlande en vue de l'emploi du ciment de laitier dans la construction des barrages. Spécifications des cahiers des charges finlandais. Les essais ont montré l'influence de la proportion d'alumine sur la qualité du ciment de laitier. E. 5660. E. D. F., p. 26 (■).

33-27. **Étanchement de renards par injections d'un gel d'argile à la digue de l'Aar de l'usine hydro-électrique de Rapperswil-Auenstein.** GYSEL (G.), BIATTER (C.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 31, 13 p., 9 fig. — Description d'une digue en terre de 4 km. sur une couche d'alluvions fluvioglaciales. Étanchement des renards par voile d'injection. Utilisation d'un gel d'argile thixotrope avec adjonction de produits chimiques. E. 5660. E. D. F., p. 63 (■).

34-27. **Fondation d'un barrage sur l'alluvion. Le barrage du Laurenti.** COYNE (A.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 35, 8 p., 5 fig. — Barrage en enrochements de 13, 75 m de hauteur fondé sur alluvions. Construction d'un parafoille amont de 5 m de profondeur et d'un tapis souple en béton armé à l'amont augmentant la longueur de pécolation. Précautions prises. Avantages du remblaiement hydraulique. E. 5660. E. D. F., p. 63 (■).

35-27. **Barrage de Castillon. Lutte contre les érosions souterraines.** ISCHY (E.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 36, 23 p., 14 fig. — Description des travaux contre les érosions au barrage de Castillon. Consolidation de l'appui rive droite en calcaire disloqué par bétonnage des cassures géantes, injection de toute la masse à consolider, épaulement de la falaise par contreforts. Étanchement par voile muni de drain à l'arrière et exécuté par forages injectés au ciment. E. 5660. E. D. F., p. 64 (■).

36-27. **Digue du Lac Noir. Lutte contre les érosions souterraines.** ISCHY (E.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 37, 19 p., 9 fig. — Lac fermé par une digue en tout-venant morainique, sujette à des érosions par variations rapides du niveau d'eau. Traitement par injections de mélanges divers : ciment sable-argile, ciment, argile traitée, gels siliceux; — matériel employé, importance des travaux. E. 5660. E. D. F., p. 65 (■).

37-27. **Le béton des grands barrages, hier, aujourd'hui et demain** (Concrete in large dams, past, present and future). STEELE (B. W.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 44, 28 p., 5 fig. — Étude des causes de détérioration du béton des barrages. Nouvelles techniques de réception des ciments. Amélioration de la granulométrie et du choix des agrégats. Avantages de la construction monolithique. E. 5660. E. D. F., p. 36 (■).

38-27. **Les dernières méthodes mises au point pour éviter les chemins d'infiltration ou les renards dans les barrages.** (The most recent methods developed to avoid piping or blow-outs in dams). RICE (O. L.), ARTHUR (H. G.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 49, 13 p., 2 fig. — Études des méthodes de prévention utilisées par le Bureau of Reclamation : Radiers amont, revêtements imperméables, tranchées parafoilles, filtres renversés, drainage, puits filtrants. Étude des projets et exécution; examen géologique, installation d'appareils de mesure, observation des fuites. E. 5660. E. D. F., p. 66 (■).

39-27. **Lutte contre les infiltrations dans les grands barrages en terre** (Seepage control for large earth dams). MIDDLEBROOKS (T. A.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 51, 16 p., 10 fig. — Trois catégories de rupture par affouillements : décharge rapide par galeries affouillées, dépoliment du talus aval par pression ascendante, érosion régressive exercée par des sources. Procédés de lutte : rideaux, drainage, revêtements, imperméables en argile. E. 5660. E. D. F., p. 66 (■).

40-27. **Contributions à la technique du béton dans ses applications à la construction des barrages** (New developments in concrete and applications in the design and construction of concrete dams). BLANKS (R. F.), PRICE (W. H.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 62, 19 p., 5 fig. — Étude des avantages de l'entraînement d'air, des pouzzolanes contre la fissuration, de la mise en place par le vide, des coffrages absorbants, du béton fabriqué par coulis du ciment entre agrégats, etc. E. 5660. E. D. F., p. 36 (■).

41-27. **Prévention des infiltrations sous barrages construits sur terrain gelé en permanence et considérations générales relatives à l'étude et à la construction de tels barrages** (Prevention of seepage and piping under dams built on permafrost and related problems connected with the design

and construction of such dams). LEWIN (J. D.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 66, 23 p., 5 fig. — Possibilité de construction de barrages dans les régions arctiques. Effet dégelant de l'eau et gelant du barrage. Méthode analytique pour le calcul de l'action résultante. Lutte contre les infiltrations. Conditions auxquelles doit satisfaire un barrage sur sol gelé. Types de barrages recommandés. Précautions à prendre dans chaque cas. E. 5660. E. D. F., p. 67 (■).

42-27. L'expérience norvégienne en matière de ciments spéciaux pour barrages (Experience on use of special cement for dam in Norway). GRONER (C. F.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 43, 12 p.; 14 fig. — Compte rendu des recherches faites en Norvège pour l'utilisation de ciments spéciaux dans la construction de barrages en béton armé (barrages-poids exceptés), en vue d'obtenir non pas une faible chaleur de prise, mais une meilleure résistance que celle offerte par le Portland à l'attaque des eaux acides. Pratique on n'a obtenu aucune différence entre le béton de ciment spécial et le béton de Portland. E. 5660. E. D. F., p. 26 (■).

43-27. Fissures d'expansion dans les barrages en béton, causées par des agrégats acides et des ciments à haute teneur en alcalis (Expansive cracking in concrete dams caused by reactive aggregate and high-alkali cement). MEISSNER (H. S.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 47, 16 p., 6 fig. — Étude des fissures produites par une réaction expansive entre les agrégats et les ciments à haute teneur en éléments alcalins. Orientation vers l'addition des pouzzolanes. Essais à effectuer. E. 5660. E. D. F., p. 38 (■).

44-27. Programme de recherches sur les ciments intéressant les constructeurs de grands barrages (A program of cement research of significance to builders of large dams). TYLER (I. L.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 50, 15 p., 8 fig. — Exposé des recherches faites aux États-Unis sur 27 ciments commerciaux en vue d'étudier le comportement du béton en fonction des caractéristiques du ciment. E. 5660. E. D. F., p. 26 (■).

45-27. Quelques remarques sur les essais des ciments spéciaux (Any remarks abouts tests of special cements). KALLAUNER (O.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 60, 4 p., 4 fig. — Les ciments spéciaux n'ont pas jusqu'ici été employés en Tchécoslovaquie pour la construction des grands barrages. On se propose aujourd'hui d'employer des ciments de haut fourneau contenant 50 % de clinkers de Portland et 50 % de laitier basique. Exposé des essais en cours. E. 5660. E. D. F., p. 26 (■).

46-27. Réduction de la température dans les bétons massifs pour éviter la fissuration (Temperature control of mass concrete to prevent cracking). RAWHOUSER (C.); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 61, 13 p. — Étude des dispositions à prendre pour empêcher la fissuration du béton par variation de température; mise en œuvre à basse température, refroidissement artificiel. Exemples d'application. Résultats obtenus. Prix de revient. Bibliographie. E. 5660. E. D. F., p. 37 (■).

47-27. Observations sur ouvrages construits avec ciments à faible chaleur de prise (Report on actual observations of hydraulic structures built with low heat cement); *III^e Congrès Internat. Grands Barrages*, Stockholm (1948), n° 63, 3 p., 1 fig. — Bref exposé des observations faites au cours d'un voyage d'inspection sur des ouvrages appartenant à l'État suédois. Un tableau fournit diverses données relatives aux différences que présentent les ouvrages, aux dates d'achèvement, aux divers éléments employés pour la fabrication du béton et aux défauts observés. E. 5660. E. D. F., p. 37 (■).

LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

CONNAISSANCES ET TECHNIQUES GÉNÉRALES

48-27. Bulletin du Centre d'Etudes de Recherches et d'Essais scientifiques des Constructions du Génie Civil et d'hydraulique fluviale. Belgique (1948), t. 3 (16 × 24 cm), 503 p., nombr. fig., nombr. pl. h. t. — Le tome 3 du Bulletin du C. E. R. E. S. résume d'abord l'activité du C. E. R. E. S. et des laboratoires, depuis la parution du tome précédent puis publie un hommage à la mémoire de René Feret; on y trouve ensuite : a) une communication de M. HOUDERMARCO sur le pont du contournement de Leuze construit en béton armé et comportant deux arcs à deux articulations de 56 m d'ouverture; b) une étude de M. MALLET sur les réalisations de béton précontraint en Afrique du Nord; c) l'exposé par M. GAUTIER d'un cas compliqué de fuites sous l'évacuateur des crues du barrage des Beni-Bahdel et le procédé d'étanchement employé; d) la description par M. HORMIDAS de la reconstruction du pont des Arches sur la Meuse, à Liège, en poutres continues en béton armé du type poutres sous chaussée; e) une étude de M. DANTINNE sur la mesure des vibrations du sol et leur effet sur les constructions; f) une importante étude de M. FOULON sur les allègements réalisables dans les profils métalliques fléchis; g) une étude de MM. SPRONCK et TRIQUET sur l'hydrographie de la côte atlantique au droit de l'estuaire du Congo; h) les recherches de M. LAMOEN sur les modèles réduits des barrages-déversoirs et l'effet d'échelle. E. 6132 (◇).

49-27. Une maison constituée par des éléments multiples permet l'essai des matériaux de construction britanniques (House of many parts tests British building materials). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (24 mars 1949), vol. 142, n° 12, p. 22-23, 26, 3 fig. — Cette maison, à Birmingham, constitue une station d'essais permanente dans laquelle peuvent être essayés les différents produits et matériaux de construction. Elle est pourvue d'une installation de chauffage central, d'eau courante, de gaz d'éclairage, d'éclairage fluorescent, etc... Le plancher a été disposé de façon à pouvoir recevoir différents revêtements. Les murs comportent des grilles qui peuvent supporter des panneaux d'essais. Pour l'étanchéité de la toiture, on a employé

6 métaux différents. Les fenêtres sont métalliques. Premières observations effectuées sur les matériaux en alliage d'aluminium. E. 6049 (◇).

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Matériaux métalliques.

50-27. Étude des allègements réalisables dans les sections des barres laminées. Proposition de séries standard allégées. FOULON (E.); *Bull. Centre Etudes Gén. Civ.* (C. E. R. E. S.), Belgique (1948), t. 3, p. 199-314, nombr. fig., 2 pl. h. t. — Importante étude de recherche des poutrelles et fers U, les plus légers à la flexion, c'est-à-dire le minimum de section pour un module d'inertie donné. Exposé de la méthode de calcul. Représentation des résultats sous forme d'abaques. Étude de la résistance des poutrelles économiques à l'effort tranchant. Étude des flèches de ces poutrelles. Tableaux des dimensions et caractéristiques des profils existants; profils continentaux, profils anglais, profils américains. E. 6132 (◇).

Matériaux non métalliques (rocheux).

51-27. La pierre. PORTEVIN (M.); *Constr. Mod.* (mai 1949), n° 5, p. 159-170, 14 fig. — Rappel de l'origine et de la formation des pierres. Ressources de la France en pierres, différentes pierres calcaires, leurs propriétés physiques et leur résistance. Procédés d'extraction. E. 6359 (◇).

Liants.

52-27. Les méthodes modernes de mise en œuvre des liants dans les travaux publics (suite). DURIEZ (M.) *Orient. Techn.* (mars 1949), t. 4, n° 3, p. 45-49, 6 fig. — Dans ce dernier article le matériel et les procédés de mise en œuvre sont envisagés. En conclusion : indication des tendances relatives à la composition des matériaux et aux méthodes d'exécution. E. 6235 (◇).

Matériaux organiques.

Bois.

53-27. **Manuel des ingénieurs en bois de construction** (Timber engineers' handbook). HANSEN (H. J.); Ed.: John Wiley and Sons, Inc., New-York, U. S. A. (1948), 1 vol., 882 p., nombr. fig. — Facteurs affectant la résistance des bois, et contraintes de travail. Dimensions des bois et propriétés des différentes sections, poids des bois, charges admises. Description des poutres simples, continues, composées, piliers. Effet des efforts combinés. Assemblages, poutres triangulées. Bois lamellaires collés, contreplaqué. Planchers, Charpentes en bois. Poteaux. Protection et entretien des bois. En appendice : tableau des charges uniformément réparties. E. 5951 (♦).

54-27. **La protection des bois contre les champignons et les insectes.** JARROUSSEAU (J.); *Menuis. France* (avr. 1949), n° 19, p. 16. — Les procédés anciens utilisés pour la protection des bois. Les procédés modernes d'imprégnation avec des antiseptiques : par injection, par trempage, par imprégnation sous vide. Les recherches sur les produits antiseptiques appropriés : résultats satisfaisants obtenus avec le carbonyl et le microsol. E. 6237 (♦).

55-27. **Les applications de la haute fréquence dans l'industrie du bois aux Etats-Unis.** COLLARDET (J.); *Rev. Bois* (mai 1949), vol. 4, n° 5, p. 15-18, 8 fig. — L'article fait le point sur les applications de la haute fréquence dans l'industrie du bois aux Etats-Unis et indique l'orientation que semble prendre cette nouvelle technique. Parmi ces applications il faut citer tout d'abord le séchage du bois, pour lequel peuvent être utilisés d'ailleurs des procédés mixtes combinant le séchage par haute fréquence avec les divers autres systèmes de séchage par l'air chaud, puis le collage des pièces lamellées et cintrées, le collage d'éléments moulés comme par exemple les diverses parties d'un meuble. E. 6358 (♦).

Matériaux à caractéristiques spéciales.

56-27. **Nouveau mode de construction des planchers isolés pour entrepôts frigorifiques.** REA (R. F.); *Refrig. Engng.* U. S. A. (nov. 1947), p. 449-450; 2 fig. — La vermiculite, sa constitution, ses propriétés, son mode d'emploi dans la constitution de planchers isolants pour entrepôts frigorifiques. E. 6174, p. 312-313 (♦).

PEINTURES, PIGMENTS, VERNIS, PRODUITS ANNEXES

57-27. **Couleurs d'ambiance et de signalisation.** DERIBERE (M.), RABATE (H.); *Courr. Norm.* (janv.-févr. 1949), n° 85, p. 25-27. — Présentation de deux projets, l'un de recommandation concernant l'utilisation des couleurs d'ambiance dans les ateliers, l'autre de norme concernant l'utilisation des couleurs de signalisation dans les ateliers. Exposé des caractéristiques de chaque projet. E. 6067 (♦).

ESSAIS ET MESURES, CORROSION,

STABILITÉ ET SÉCURITÉ DES CONSTRUCTIONS

Corrosion.

58-27. **La corrosion du cuivre, du plomb et des spécimens en alliage de plomb après un séjour atteignant une dizaine d'années dans différents sols** (Corrosion of copper, lead, and lead-alloy specimens, after burial in a number of soils for periods up to 10 years). GILBERT (P. T.); *J. Inst. Metals*, G. B. (nov. 1946), vol. 73, n° 3, p. 139-174, fig., 3 réf. bibl. — Compte rendu d'essais sur canalisations témoins enterrées dans différents sols (argile humide normale, sol sablonneux, argile humide acide, sol calcaire, sable sec acide). La corrosion s'est révélée très variable, la perte de poids variant de 1 à 50 d'un sol à l'autre. Importance de l'action des bactéries. Interprétation des résultats. Avantage des revêtements protecteurs bitumineux aux extrémités des canalisations. E. 6262 (♦).

59-27. **Etudes sur les tarets.** HARDY; *Dock and Harbour authority*, G. B. (juin 1948), t. 28, p. 38-39. — Principales espèces perforantes des calcaires et des bois. Conditions de développement. Bois de meilleure résistance. Stations d'étude. Moyens de protection. E. 5923, p. 728 (♦).

LA CONSTRUCTION PROPREMENT DITE

INFRASTRUCTURE ET MAÇONNERIES

Infrastructure.

Terrassement.

60-27. **Un travail de terrassement délicat. Récupération de terre sur la mer dans la zone de Wash** (An adventurous muck shifting job, reclamation of land from the sea in the Wash area); *Muck Shifter* G. B. (déc. 1948), vol. 6, n° 12, p. 497-502, 8 fig. — Pendant l'occupation romaine un travail de ce genre avait déjà été effectué dans cette région; d'autres travaux furent entrepris au XVII^e siècle, mais depuis lors les gains de la terre sur la mer avaient été assez limités. Les travaux repris récemment ont permis de conquérir sur la mer deux zones, chacune d'une superficie de 600 hectares environ. Détails d'exécution des travaux. E. 6156 (♦).

Fondations.

61-27. **Une manufacture à plusieurs étages est construite sur un terrain en argile collante** (Multistory factory floats on gumbo); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (3 mars 1949), n° 9, p. 45-46, 3 fig. — La manufacture mesure 366 m de long, elle possède une partie centrale de 5 étages de 67 x 67 m et deux ailes à 3 étages. Le sol sur lequel elle est construite est une argile collante provenant d'un dépôt d'alluvion. En raison de la faible résistance du sol, on a dû établir une semelle spéciale. On a utilisé à cet effet un système à treillis métallique enrobé dans la dalle. Le treillis est constitué par des fers à U soudés. Avantages du procédé. Dispositif de drainage. E. 5805 (♦).

62-27. **Le batardeau de Laninon, à Brest. Exécution des travaux.** CUINIER (M.), DENIZOU (A.); *Travaux* (mai 1949), n° 175, p. 187-202, nombr. fig. — Description du mode d'exécution des travaux du batardeau de Laninon, qui s'appliquent aux opérations suivantes : dragages, battage de gabionnades secondaires et principales, poutres d'arrêt, remplissage des gabions, passe ouvrière, ouvrages de remplissage et de vidange, assèchement, étanchéité. E. 6240 (♦).

63-27. **Principes dynamiques des fondations mécaniques et du sol** (Dynamic principles of machine foundations and ground). CROCKETT (J. H. A.), HAMMOND (R. E. R.); *Engineer*, G. B. (15 avr. 1949), vol. 187, n° 4864, p. 411-413, 11 fig. — Chaque sol a une fréquence propre de vibration, et il est fréquent que le sol et la machine vibrent en résonance. Principes du comportement des fondations soumises à des vibrations. Système poids-ressort équivalent au sol et aux fondations. Étude mathématique de la vibration du sol et de la fondation en régime établi. Relations entre le poids actif, la fréquence propre et la constante élastique d'un système de fondation. Tasement dynamique du sol. Coefficient d'amortissement. Harmoniques instables. L'article se réfère à des travaux antérieurs sur la question, notamment des auteurs eux-mêmes et de Degebo. E. 6055 (♦).

64-27. **Principes dynamiques des fondations et sols pour machines** (Dynamic principles of machine foundations and ground). CROCKETT (J. H. A.), HAMMOND (R. E. R.); *Engineer*, G. B. (22 avr. 1949), vol. 187, n° 4865, p. 440-441, 6 fig. — Fin de l'étude de l'amortissement des vibrations dans les systèmes à double ou triple liaison ressort-poids. Réduction des vibrations, notamment à la base de la fondation. Oscillations complexes comprenant des déplacements verticaux et des rotations autour d'un axe horizontal. Tendances modernes de la construction des fondations : chaque composant ressort-poids doit comprendre six degrés de liberté, et il faut supprimer la résonance entre sol et machine. E. 6094 (♦).

Travaux préliminaires ou annexes.

65-27. **Essais de pieux en vue de faciliter les projets et de rendre la construction plus économique** (Pile tests for design and construction economy). THORNLEY (H. B.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 32-35, 8 fig. — La Western Foundation Corp. utilise une sonnette consistant en un jeu de glissières en acier d'une hauteur de 27,50 m et une chaudière

à vapeur actionnant un mouton de 2 760 kgm. Méthode d'utilisation pour l'essai des pieux. Essais pour la détermination de la friction du sol. Essais de charge alternative et de charge vibrante. Dans le cas considéré ces derniers essais revêtaient une importance particulière, car le bâtiment en construction devait servir à l'essai de turbines à vapeur. E. 6166 (◇).

66-27. **Battage de pieux inclinés en espace restreint** (Driving batter piles in close quarters). *Constr. Methods*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 31, n° 2, p. 86-88, 12 fig. — Pour battre des pieux inclinés à proximité d'un pipe-line, l'entrepreneur a construit une sonnette spéciale. Cet équipement a permis de battre 5 000 pieux sur une longueur de 16,9 km pour l'aqueduc de Mokelumne. Ces pieux préfabriqués en béton avaient une longueur de 5 à 17 m. Description de la sonnette spéciale et des opérations de battage des pieux. E. 6105 (◇).

Agrégats, mortiers, bétons.

Béton ordinaire.

67-27. **L'emploi structural du béton armé normal dans les constructions** (The structural use of normal reinforced concrete in buildings). *FABER* (O.); *Struct. Engr.*, G. B. (avr. 1949), vol. 27, n° 4, p. 193-208. — Commentaires sur les codes pratiques établis en 1942 pour les constructions en béton armé. Aperçu sur les questions de la composition du béton, de l'acier d'armature, du rapport modulaire, des poutres en béton armé, des dalles, des piliers, de la résistance à l'incendie et de la soudure appliquée aux armatures du béton armé. Discussion. E. 6004 (◇).

68-27. **Matériaux pour construction en béton** (Materials for concrete construction). *HINER* (L. C.); *Highw Bridges Aerod.* (6 avr. 1949), vol. 15, n° 770, p. 5-6. — Composition et caractéristiques du ciment Portland, du ciment à haute teneur en alumine. Relation existant entre les différentes classes d'agréments et la résistance du béton, sa durée et sa faculté d'absorption. Types d'agréments fins, grossiers, quelconques. Impuretés. Granulométries et classement des agrégats. Dosage du béton. Rapport eau-ciment. Action du gel et de l'eau de mer. E. 5999 (◇).

69-27. **La résistance du béton et sa mesure**. *L'HERMITE* (R.); *Ann. Inst. Techn. B. T. P.* (févr. 1949), n° 62, 31 p., 17 fig. — Essais réalisés sur le béton et dans quelle mesure les résultats obtenus correspondent à la réalité. Comparaison des ciments d'avant-guerre et des ciments actuels; d'après les statistiques. Répartition inégale du ciment dans une poutre puis recherche d'un appareil simple d'analyse du béton frais, d'un appareillage d'écrasement sur faces rectifiées et d'un appareil de mesure du module d'élasticité du béton. La conférence est suivie d'un exposé de M. Brenier sur la qualité des bétons actuels et d'une discussion. Le fascicule contient également des notes écrites apportant les observations de M. COCAGNE sur la qualité actuelle des ciments; de MM. PROT, VALETTE, JAMMOT, CHAMBAUD, GAILLEDRAI, Etablissements Lange et Escande, Lainé. E. 6111 (◇).

70-27. **Résistance du béton**. *KEEBLE* (D. H. L.); *Via*, n° 3, p. 129-130, 3 fig. — Amélioration de la résistance à l'érosion du béton par addition d'un faible pourcentage d'air. Utilisation du « Cheecol Z ». Tableaux des résultats d'essais de résistance et de perméabilité. E. 6365 (◇).

71-27. **Essais de bétonnières** (Provning Av Betongblandare). *NYCANDER* (P.); *Statens Provninganstalt*, Stockholm (1947), n° 100, 25 p., 17 fig. — Étude sur la classification des bétonnières qui sont du type malaxeur (Eirich) ou du type à gravité (Smith, Jäger, Ransome, Kaiser). Essais antérieurs sur bétonnières. Développement des recherches. Conditions de réalisation des essais. Préparation du béton avec les bétonnières d'essai et fabrication des éprouvettes pour chaque type de bétonnière. Valeur des résultats d'expériences. Recherches sur l'homogénéité. Proposition de normes pour le classement des bétonnières destinées à la construction sous le rapport des qualités de malaxage. E. 6080 (◇).

72-27. **Usine à glace pour béton de barrage** (Rapid ice-making machine developed to furnish ice for cooling concrete). *Western Constr. News*, U. S. A. (févr. 1948), t. 2, p. 85-86, 3 fig. — Description d'une machine fabricant de la glace que l'on ajoute au béton avant malaxage pour réduire le retrait après prise. Fonctionnement automatique. E. 5923, p. 730 (◇).

73-27. **Addition de glace pour refroidir le béton destiné aux barrages** (Ice in mix pre-cools concrete for dams). *Compressed Air Magazine* U. S. A. (mars 1948), t. 3, p. 66-67, 4 fig. — Procédé de gâchage de béton avec de la glace broyée en vue de réduire

le retrait. Exemple d'installation produisant 135 t de glace et 45 t d'eau froide par jour pour traiter 1800 m³ de béton. E. 5293 (◇).

Bétons spéciaux.

74-27. **Mortier et béton Prepackt**. *Electr. France* (nov.-déc. 1948), n° 10, p. 120-124, 1 fig. — Historique du béton Prepackt étudié aux États-Unis. L'« Intrusion Prepackt Co » de Cleveland a breveté un procédé de composition d'un mortier et de son pompage dans les vides de l'agrégat préalablement mis en place et bien serré. Utilisations diverses. Le mortier Prepackt comprend du ciment, une pouzzolane (dite alfosil), un agent de fluidité (intrusion aid), du sable fin, de l'eau. L'agent de fluidité est un colloïde. Résistances obtenues. Exemples de travaux exécutés. E. 5660 (◇).

75-27. **Verre et béton**. *Glaces Verres* (avr. 1949), n° 101, p. 9-14, 10 fig. — Exemples typiques d'ouvrages en béton translucide mis en œuvre selon les règles de l'art par des constructeurs expérimentés, d'où se dégage une impression d'harmonie et de beauté : murs, plafonds, coupoles, marquises. E. 6453 (◇).

76-27. **Habitations dans le bourg de Clydebank**. *Maisons en blocs de béton en laitier écumé* (Housing in the burgh of Clydebank. Houses of foamed slag concrete blocks). Ed. : Cement Concr. Ass. U. S. A. (févr. 1949), 1 broch., 12 p., nomb. fig. — Sur 850 maisons construites dans le bourg de Clydebank, 504 ont été édifiées avec des murs en blocs de béton en laitier écumé. Ces maisons sont construites sur un terrain argileux. La légèreté de ces constructions a permis de réduire au minimum les fondations et les semelles des murs. On a fait usage de blocs standards. Détails de construction. Plomberie. Fabrication des blocs. E. 6212 (◇).

77-27. **Une charge permanente réduite permet d'économiser l'acier pour la charpente** (Low dead weight saves steel in frame). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (31 mars 1949), vol. 142, n° 13, p. 41-43, 4 fig. — Afin de réduire la charge permanente d'un bâtiment pour bureaux à Los Angeles, on a utilisé le béton léger à base d'agrégat de pierre ponce. Caractéristiques du béton mis en œuvre. Les revêtements sont en plâtre ignifugé et vermiculite. Piliers en acier. Économie de poids sur les piliers de l'ordre de 1 000 t d'acier. Le revêtement extérieur est effectué au moyen de pierres prétaillées. Étude de la résistance du bâtiment aux secousses sismiques. E. 6100 (◇).

78-27. **Le béton réfractaire** (Refractory concrete). *WILLIAMS* (A. E.); *Engineer*, G. B. (6 mai 1949), vol. 187, n° 4867, p. 496-498, 6 fig. — Le béton réfractaire est un mélange de ciment alumineux avec un agrégat possédant de hautes propriétés réfractaires. On l'utilise pour les fondations de fours. Il reste stable à la température de 1 300°C. Avantages du béton réfractaire. Essais effectués et résultats obtenus. Nombreuses applications industrielles. E. 6274 (◇).

Maçonneries ordinaires et travaux annexes.

Maçonneries précontraintes, maçonneries spéciales.

79-27. **Constructions en briques armées** (Armerade Tegelkonstruktioner). *GRANHOLM* (H.); *Chalmers Tekniska Högskolas*, Suède (1943), n° 16, 122 p., fig. (résumé anglais, p. 121) — Compte rendu d'une série d'essais effectués sur des poutres dalles et piliers, en briques armées. Pour les poutres et les dalles on a utilisé soit des briques pleines « sciure de bois » de 1,4 à 1,6 de densité, soit des briques creuses de 78 et 105 trous. Pour les piliers on a utilisé des briques sans inclusion de sciure, de 1,8 à 1,9 de densité. Les résultats ont montré que la brique armée peut se calculer de la même façon que le béton armé. La valeur de « n » varie considérablement suivant les briques et surtout avec la qualité du mortier. Les essais sur les piliers armés ont montré que leur résistance à la rupture peut être calculée en additionnant les résistances partielles de la brique, de l'armature et du béton. E. 6018 (◇).

Ouvrages annexes.

80-27. **Des hectares de matelas en béton** (Acres of concrete mat.). *Constr. Methods*, U. S. A. (mars 1949), vol. 31, n° 3, p. 42-45, 8 fig. — Pour maintenir les rives du Mississippi inférieur on a utilisé un grand nombre de types de revêtements. Le plus largement employé est le matelas articulé de béton. L'équipement nécessaire pour ce genre de travail est installé sur des péniches

et nécessite un personnel de 600 ouvriers. Il est remorqué par un remorqueur de 2 600 CV et peut traiter 750 000 m³ de terre par mois. Réparation d'urgence à l'asphalte. E. 6198 (◇).

Procédés de construction utilisant le béton.

Béton précontraint.

81-27. **Le béton précontraint.** MAGNEL (G.); *Orient. Techn.* (déc. 1948), t. 3, n° 12, p. 149-153, 5 fig. — Article destiné aux industriels appelés à choisir pour leurs ouvrages et bâtiments un mode de construction; défauts du béton armé classique; remède par la précontrainte et exposé sommaire de la technique employée. Avantages (économie) et applications diverses. E. 6128 (◇).

82-27. **Le béton précontraint : applications Nord-Africaines.** MALLET (Ch.); *Bull. Centre Etudes Gén. Civ. (C. E. R. E. S.)*, Belgique (1948), t. 3, p. 69-127, nombr. fig. — Considérations générales sur la précontrainte; Consolidation du barrage de Cheurfas. Surélévation du barrage des Beni-Bahdel. Construction du pont sur la Medjerda en béton précontraint et essais relatifs à cet ouvrage. Mode de construction. Étude des siphons évacuateurs de crues. E. 6132 (◇).

83-27. **Réservoirs hyperboliques à paroi mince en béton précontraint.** *Génie Civ.* (1^{er} mai 1949), vol. 126, n° 9, p. 171, 2 fig. — Description d'un réservoir en béton précontraint sur pylône en forme de paraboloïde hyperbolique de révolution de génératrices inclinées de 45° sur l'horizontale. Exemple de réalisation d'un réservoir de 40 m³ et de 3 cm d'épaisseur de paroi. E. 6241 (◇).

84-27. **Trois réalisations belges en béton précontraint.** STEINMANN (G.); *Schweiz. Bauz. Suisse* (12 mars 1949), n° 11, p. 155-158, 17 fig. — Description d'ouvrages en béton précontraint réalisés en Belgique par le procédé de la plaque sandwich : pont de Smets à Gand, pont rail-route de 18 m de largeur et de 28,80 m de portée : usine de l'Union Cotonnière à Gand, superficie de 30 000 m², couverture en poutrelles précontraintes de 13,70 m de portée; hangars pour avions lourds à l'aérogare de Bruxelles-Melsbroek, poutres précontraintes de 50,90 m de portée. E. 5749 (◇).

85-27. **Éléments de construction préfabriqués en béton armé précontraint** (Baufertigteile aus vorgespanntem Stahlbeton). PRAHL (G.); *Betonstein Zeitung All.* (mai-juin 1948), n° 5-6, p. 82-87, fig. — Le béton précontraint est à la pointe du domaine du béton armé. Les travaux et études déjà réalisés permettent d'espérer le développement intensif de son emploi dans le bâtiment. Historique et caractéristiques principales. Économie d'acier et de matières premières, ses avantages sur le béton armé ordinaire. E. 6239, p. 140 (◇).

CHARPENTES, MENUISERIE, SERRURERIE

Travail du bois.

86-27. **Le sciage des bois coloniaux.** PETITPAS (J.); *Bois, Forêts Tropiques* (janv.-févr.-mars 1949), n° 9, p. 75-82, 9 fig. — Le sciage correct est celui qui correspond au minimum de travail. Les facteurs qui interviennent dans le travail d'une scie à ruban : tension de montage, traction d'usinage, réaction à l'avancement, puissance vive, tensionnement de l'outil, fatigue à l'enroulement de la lame. Étude détaillée de ces différents facteurs dans le cas des bois coloniaux. E. 6311 (◇).

87-27. **Assemblages de charpente. Les organes d'assemblages.** *Rev. Bois* (avr. 1949), vol. 4, n° 4, p. 26, 6 fig. — Limitation des charges transmissibles dans les assemblages par boulons avec plaques de serrage. Augmentation des charges transmissibles grâce à l'emploi des organes d'assemblage. Mode d'action et force portante de ces organes : associés à un boulon ils permettent de doubler, tripler et parfois de quadrupler la force portante du boulon. Il y a intérêt à généraliser en France l'emploi de ces organes. E. 6059 (◇).

88-27. **Sur l'emploi de bois ronds dans le bâtiment** (Ueber die Verwendung von Rundholz im Bauwesen). STÖY (W.); *Bauplan. Bautech. All.* (janv. 1949), vol. 3, n° 1, p. 25-29, 18 fig. — Avantage des bois ronds sur les bois équarris : résistance plus grande, tant au point de vue mécanique qu'à celui des intem-

péries, économie évidente. Inconvénients : difficulté des assemblages. C'est à leur étude qu'est presque entièrement consacré cet article. E. 5502 (◇).

Travail des métaux.

Soudure.

89-27. **Record de soudure.** *Atomes* (févr. 1948), n° 23, p. 59. — Description d'une charpente métallique soudée construite en Espagne. Hangar de 180 m d'ouverture et 47 m de profondeur. Un seul support intermédiaire sur la ligne d'ouverture des portes. Poids de 57 kg/m². Montage à terre et soulèvement par verins. E. 5923, p. 731 (◇).

Charpente en fer.

90-27. **La construction métallique et l'acier.** Éd. : O. T. U. A., Paris (VIII^e), 1 broch., 18 p., nombr. fig. — Dans la construction métallique, le matériau commande l'évolution des techniques de l'art de construire. Raisons du développement de la construction métallique : constance des qualités de l'acier, rapidité de construction des ouvrages métalliques, possibilités de transformation et de récupération, résistance à la corrosion et à l'incendie, faible encombrement, développement de la production annuelle de l'acier, perfectionnements dans l'emploi de l'acier. E. 6308 (◇).

91-27. **Un manuel français de la construction métallique.** *Ann. Inst. Techn. B. T. P.* (févr. 1949), n° 63. — Exposé du but, du mode d'établissement et des matières traitées dans le Manuel de Construction Métallique qui paraîtra d'abord par fascicules séparés dans les *Annales de l'Institut Technique* et seront réunis par la suite en un ouvrage unique. Plan initial du manuel et détail des subdivisions. E. 6112 (◇).

92-27. **Problèmes structuraux élémentaires relatifs à l'acier et au bois de construction** (Elementary structural problems in steel and timber). YOUNG (C. R.), MORRISON (C. F.). Éd. : J. Wiley and Sons, Inc., New-York, U. S. A., 3^e éd. (1949), 1 vol. 329 p., nombr. fig. — La première partie, consacrée aux structures en acier, présente l'étude des pièces tendues, des pièces comprimées et des assemblages, puis l'étude des poutres : poutres caissons, poutres à âme pleine, poutres triangulées. Application aux grues. Charges mobiles sur poutres. En seconde partie : étude des pièces en bois : pièces tendues, pièces comprimées, pièces soumises à la flexion. En appendice : exercices et problèmes. E. 6324 (◇).

COUVERTURE, ÉTANCHÉITÉ, ACHÈVEMENT

Couverture.

93-27. **Revêtements d'étanchéité des toitures-terrasses** DECIA (M.); *Techn. Mod. Constr.* (avr. 1949), t. 4, n° 4, p. 112-115, 1 fig. — Examen de quelques particularités des revêtements d'étanchéité telles que le vieillissement, les coulures et la fissuration de l'asphalte, le cloquage et les plissements. E. 6315 (◇).

94-27. **Les emplois du plomb dans la couverture.** BOULIAU; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 27-29, 31. — Les qualités qui le font utiliser en couverture, ses caractéristiques mécaniques. Danger du phénomène d'ancrage superficiel : on y remédie par une isolation thermique (procédé Berdeaux), ou l'emploi de plomb épais (4 mm). Accessoires de couverture en plomb. L'entretien du plomb est pratiquement nul, le plomb étant un métal indestructible. L'intérêt national bien compris est d'encourager l'emploi du plomb. E. 5598 (◇).

95-27. **L'évolution de la couverture en zinc depuis le Premier Empire.** GRUNBERG; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 21-25, 4 fig. — L'emploi du zinc pour les toitures, les tâtonnements du début. Avantages de la couverture en zinc : légèreté, ténacité, durée, innocuité, incombustibilité, diminution de pente et de maçonnerie, utilisation de toute la hauteur, facilité de circulation, valeur du vieux zinc. La couverture de zinc préfabriquée. E. 5598 (◇).

96-27. **L'amiante-ciment, matériau de couverture.** BAUCHER; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 39. — Mode de pose des ardoises en fibro-ciment, les deux types d'ardoises en fibro-ciment (40 × 40 et 40 × 20), leurs caracté-

ristiques. La plaque ondulée en amiante-ciment, ses caractéristiques, sa mise en œuvre. Avantages des couvertures en amiante-ciment. E. 5598 (◇).

97-27. **La couverture en tuiles.** CLOZIER; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 41-44, 4 fig. — Ancienneté d'application de la tuile en couverture. L'invention de la tuile à emboîtement, ses différents modules. Les tuiles canal et les tuiles plates. Tonalité des tuiles, l'addition de colorants. Perfectionnements apportés aux tuiles à emboîtement. Fabrication des tuiles. Production annuelle. E. 5598 (◇).

98-27. **L'ardoise.** BLAVIER; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 45, 47, 49. La production ardoisière. La formation professionnelle accélérée des apprentis ardoisiers. Nos exportations d'ardoises. Les besoins du M. R. U. en ardoises. La standardisation des modèles, l'épaisseur à recommander selon les régions. Variation du pureau avec la pente du toit. Les prix des ardoises. Références de longévité. E. 5598 (◇).

99-27. **L'ardar** (ardoise en ciment), VITALE; *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 49, 51. — Principe de l'ardar en ciment Ardar (planitude et élimination pratique des effets du retrait « par voie humide ». Sa pose sur liteaux en bois et sur liteaux en fer. Son utilisation en plafond et cloisonnements. Caractéristiques des divers modules, tonalités possibles. Résultats d'essais effectués en Laboratoire. Références d'emploi. E. 5598 (◇).

100-27. **Tuiles en mortier de ciment.** VITALE, *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 51-53, 2 fig. — La qualité du matériau fonction de la granulométrie et de la compacité. L'assemblage obtenu grâce aux profils des éléments. Le schéma de fabrication des tuiles en ciment (machines employées). Caractéristiques des tuiles en ciment; système de pose. Leur étanchéité et leur résistance mécanique. Conditions économiques de cette fabrication. Références d'emploi. E. 5598 (◇).

Aménagement.

101-27. **Réalisation d'un cadre en staff.** BALBIEN (H.); *Trav. Peint.* (mai 1949), vol. 4, n° 5, p. 226-230, 8 fig. — Recettes pratiques et détaillées au titre d'exercices de traçage pour l'exécution : d'un noyau, de la face principale d'un moule pour bandes moulurées, de coupes d'angles, pour la fabrication d'une plaque de staff, pour l'exécution des assemblages, scellements et raccords des coupes d'un moule sur la plaque de fond. E. 6356 (◇).

PRÉFABRICATION

102-27. **Les maisons françaises construites avec des éléments ou des ensembles en acier fabriqués d'avance en atelier.** Éd. : O. T. U. A., Paris (VIII^e) (1948), 1 broch. — L'emploi des éléments préfabriqués dans la construction, ses avantages. Les caractéristiques de la maison Arcadia (fondations, ossature, parois et cloisons, fenêtres et portes, planchers, aménagements), de la maison métallique Fillod (montage, protection contre la corrosion, isolation thermique et acoustique), de la maison métallique Grames (fondations, ossature, parois, joints, protection contre la rouille, menuiserie métallique, planchers, toiture, bloc eau), de la maison Guelain (fondations, ossature, planchers, toiture, parois, menuiserie métallique, aménagements), de la maison La Lorraine (fondations, ossature, menuiserie métallique, planchers, cloisons, équipement), de la maison Phénix (fondations, ossature, menuiserie métallique, parois) et de la maison Stransteel (ossature, parois, planchers, couverture, plafond). Les avantages de la construction en métal. E. 6309 (◇).

103-27. **Une école en aluminium éditée en 28 heures.** VICTOR (M.); *Rev. Alum.* (avr. 1949), n° 154, p. 142-144, 14 fig. — Les conditions d'amenée à pied d'œuvre des éléments préfabriqués et de montage de ces éléments pour édifier une école comportant deux salles de classe et présentant une surface couverte de 200 m². Les caractéristiques de cette construction. La Société Nationale de Constructions Aéronautiques du Sud-Est est équipée pour permettre l'édification de 2 000 classes par an. E. 6301 (◇).

104-27. **Les panneaux pour murs en béton préfabriqué isolé peuvent remplacer économiquement la brique** (Insulated precast concrete wall panels prove economical substitute for brick). TOPPING (Ch. H.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 42-45, 9 fig. — Pour la construction d'une usine de nylon on a utilisé des panneaux pour murs en béton préfabriqué isolé comportant des blocs de remplissage en plâtre, des

armatures en acier et un revêtement en béton sur chaque face. Mode de fabrication des panneaux. Essais effectués. Mise en place des panneaux. Ces panneaux sont à l'épreuve du feu et leur poids est tel que les murs ainsi constitués ont sensiblement le même poids que les murs en briques. Leur construction est cependant plus rapide et moins coûteuse. E. 6166 (◇).

105-27. **L'emploi de murs préfabriqués permet d'accélérer la construction d'un dortoir** (Precast walls speed dormitory completion). CRANE (T.); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (31 mars 1949), vol. 142, n° 13, p. 36-37, 3 fig. — Pour la construction des murs, on a utilisé 4 000 dalles de 2,44 m de large et hautes d'un étage qui furent mises en place à l'aide de grues à chenilles. On n'utilisa pour cette construction ni acier structural, ni piliers en béton armé. Tous les murs portants ou non portants furent constitués par des dalles. Les planchers en béton furent coulés sur place. On obtint de cette façon une construction rapide et économique. E. 6100 (◇).

106-27. **Sur la statique des constructions faites à l'aide d'éléments préfabriqués en béton** (Zur Wahl des statischen Systems bei Fertigbetonkonstruktionen). BICKENBACH (H.), HUTH (G.); *Bauplan. Bautech.*, All. (janv. 1949), vol. 3, n° 1, p. 2-8, 23 fig. — L'emploi d'éléments en béton préfabriqué, permet d'économiser le bois et le métal. Difficultés d'assemblages, notamment quand il s'exerce des efforts de traction. Généralités sur les assemblages, Calcul des sections. Poutre simple à deux appuis. Poutre continue. Cadres. Poutres en treillis. Bâtiments à étages. Toitures. E. 5502 (◇).

107-27. **Le point de vue économique dans l'emploi d'éléments préfabriqués en béton dans la construction de halls** (Die Wirtschaftlichkeit der Fertigbetonbauweise bei Hallenbauten). SCHEUNERT (A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (janv. 1949), vol. 3, n° 1, p. 9-16, 14 fig. — Étude comparative de la construction de halls : monolithes en béton armé, en éléments préfabriqués en béton et à charpentes entièrement métalliques. Avantages et inconvénients de ces types de construction, selon les dimensions des halls. Tableaux donnant le détail des matériaux nécessaires à la construction de quelques halls. E. 5502 (◇).

INSTALLATIONS ANNEXES

CLIMATISATION

Théories et techniques générales.

108-27. **Théorie et application du chauffage par les parois** (Theorie und Technik der Flächenheizung). VON KOLLMAR (A.); *Ges. Ing.*, All. (avr. 1949), n° 7-8, p. 113-119, 1 fig. — Suite et fin d'un article antérieur. Calcul de la chaleur perdue par le corps humain. Bilan thermique du corps humain dans la pièce, puis du corps humain par rapport aux surfaces des murs extérieurs, conditions thermiques à réaliser pour les diverses parties au corps. Considérations générales sur l'application pratique de la théorie. E. 6095 (◇).

109-27. **Sur le calcul de la consommation de charbon dans les installations de chauffage** (Zur Berechnung des angemessenen Brennstoffverbrauchs von Heizanlagen). RAISS (W.); *Ges. Ing. All.* (janv. 1949), n° 1-2, p. 28-36, 7 fig. 22 réf. bibl. — Éléments nécessaires au calcul : pouvoir calorifique du combustible, rendement de la chaudière, calcul des déperditions calorifiques, pertes par les conduites, climat, température des pièces et sa régulation, durée de fonctionnement de l'installation, etc. Formules de prévision et comparaison de leurs résultats avec ceux de la réalité pour 15 immeubles de Hambourg : l'écart moyen est de $\pm 15\%$. E. 5317 (◇).

110-27. **Ce qu'il faut faire et ne pas faire en chauffage automatique au mazout.** ARNAUD (H.), DECKER (A.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 3, 5, 7, 8 fig. — Stockage du combustible. Recommandations au sujet de l'emplacement des diverses tuyauteries branchées sur les réservoirs : remplissage, ventilation, aspiration, retour-jauge. Dispositif « vent-alarm » des Américains. E. 5768 (◇).

111-27. **Cheminées pour chaudières à mazout.** *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 7, 9. — Avis de M. Hérody sur la construction des cheminées pour chaudières utilisant le mazout. Leur section. Formule de Montgolfier — son adaptation au mazout. E. 5768 (◇).

112-27. Le chauffage par rayonnement. CHASSEREAU (R.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 19, 21, 23, 25, 8 fig. (D'après Heid-Kollmar, Karle Kalous, Robert et Hutchinson.) — Tableaux indiquant la répartition du rayonnement direct et primaire déterminé géométriquement. Emplacements les plus confortables à occuper par l'être humain. Chauffage par le plafond. Influence des parois verticales extérieures. Calcul des coefficients de transmission de chaleur des parois. E. 5768 (♦).

113-27. Le chauffage par rayonnement. GAVELLE (R.); *Chant. Coop.* (avr. 1949), n° 13, p. 18-20, 3 fig. — Exemples d'installations en France et en Belgique de chauffage par rayonnement au moyen d'air chaud pulsé parcourant les dalles creuses d'un plancher; il est prévu un réseau de reprise. En Belgique on a utilisé la chaleur sensible des fumées; les règlements français interdisent une telle récupération. E. 6183 (♦).

114-27. Théorie et technique du chauffage par panneaux (Theorie und Technik der Flächenheizung). KOLLMAR (A.); *Ges. Ing., All.* (janv. 1949), n° 1-2, p. 22-28, 7 fig. — Description d'installations avec données numériques, évaluation des quantités de chaleur à fournir par le plancher et le plafond pour compenser les déperditions calorifiques. Calculs des éléments de l'installation. Théorie générale et détermination des températures de panneaux muraux. E. 5317 (♦).

Le chauffage.

115-27. Dispositifs de sécurité dans un chauffage central à étages (Sicherungseinrichtungen bei Stockwerksheizungen). *Ges. Ing. All.* (avr. 1949), n° 7-8, p. 121-123, 1 fig. — Pour éviter les perturbations réciproques des circuits de circulation interconnectés, il faut s'efforcer de les amener à la même température au point de jonction, efficacité de certaines prescriptions de sécurité (conduite de retour de sûreté. DIN 4751). On propose un nouveau dispositif du réservoir d'expansion, utilisable pour circulation par gravité ou pour circulation forcée par pompe. E. 6095 (♦).

116-27. Détermination de la surface de chauffe des chaudières et introduction d'un nombre caractéristique pour le chauffage à l'eau chaude (Ermittlung der Kesselheizfläche für den Anheizzustand und Einführung einer Kennziffer für die Warmwasserheizung). Von KUHRASCH (B. H.); *Ges. Ing., All.* (avr. 1949), n° 7-8, p. 119-121, 2 fig. — Le « nombre caractéristique » est le rapport entre la contenance de la chaudière en eau et le besoin de chaleur maximum des locaux. Représentation graphique de cette notion dans 2 exemples. Capacité excessive de la chaudière en eau est une faute de construction. E. 6095 (♦).

117-27. La vapeur haute pression (suite). EURIAT (R.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 53, 55, 57, 59. — Décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur. E. 5768 (♦).

118-27. Le chauffage moderne par air chaud (Neuzeitliche Luftheizung). SPRENGER (E. S.); *Ges. Ing., All.* (janv. 1949), n° 1-2, p. 3-8, 9 fig. — Avantages de ce mode de chauffage: moindre quantité de métal que pour la circulation d'eau; pas de danger de gel; rapidité de mise en marche; facilité de ventilation. Inconvénients: forte consommation de combustible et difficulté de réglage. Convient surtout aux grandes pièces (halls, salles de spectacles, etc.). Schémas d'installation, description des appareils; ventilateurs, moteurs, chaufferies, filtres, canalisations, évacuations, régulateurs de température silencieux. E. 5317 (♦).

119-27. Choix et installation de diffuseurs d'air (Selecting and installing air diffusers); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (7 avr. 1949), vol. 142, n° 14, p. 24, 12 fig. — Un premier tableau permet de fixer le choix d'un diffuseur suivant les différents cas d'utilisation. Un graphique donne la vitesse de propagation de l'air pour différentes hauteurs de plafond. D'autres tableaux fournissent les capacités, les rayons de diffusion pour les différents types de diffuseurs. E. 6099 (♦).

120-27. Le chauffage des appartements au point de vue thermo-physiologique et hygiénique (Die Wohnraumheizung unter wärmephysiologischen und hygienischen Gesichtspunkten). LIESE (W.); *Ges. Ing., All.* (janv. 1949), n° 1-2, p. 16-22, 2 fig. — Étude calorimétrique de la chaleur dégagée par le corps humain, mesures thermométriques des températures internes et superficielles. Nécessité pour l'hygiène de maintenir la température de l'air au voisinage de 18 à 19°. Supériorité, à ce point de vue, du chauffage par panneaux. E. 5317 (♦).

121-27. L'eau chaude. Procédés et conditions de production. Rendement des appareils et systèmes. BOURCIER (L.);

Chaud-Froid (mars 1949), n° 27, p. 49-51, 2 fig. — Exposé des procédés de chauffage. Production instantanée et accumulation. Rendement des appareils et des systèmes. Influence des conditions plus ou moins judicieuses d'emploi. E. 5768 (♦).

122-27. Le chauffage par rayonnement protège les planchers des chambres à basse température. *Ice Refrig.* U. S. A. (févr. 1948), p. 38, fig. — Exemples d'emploi aux États-Unis d'un nouveau système de chauffage par rayonnement en vue d'éviter les accidents de soulèvement de béton et de désintégration de l'isolation. Tuyauterie en fer noyée dans le béton parcourue par du fuel-oil chauffé aux environs de 4° C ou par de l'eau chaude. E. 6174, p. 313 (♦).

Traitement de l'air et de la matière.

123-27. Pourquoi ne réalise-t-on pas de conditionnement d'air intégral ? GRUZELLE (R.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 13, 15. — Si le problème d'hiver peut être facilement résolu, celui d'été est beaucoup plus difficile surtout quand la température extérieure est plus élevée que la température à maintenir dans le local et que le degré hygrométrique de l'air extérieur est voisin de la saturation. On parvient par l'emploi, soit d'un groupe frigorifique, soit d'eau naturellement froide, soit encore de glace à des réalisations trop onéreuses, qui en font le plus souvent rejeter l'application. E. 5768 (♦).

124-27. Le conditionnement d'air dans les pays tropicaux. CRESPI (S.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 27, 29, 31, 5 fig. — Bases climatiques du calcul d'une installation, température maximum moyenne, température maximum absolue, influence de l'humidité, influence au rayonnement solaire. Conditions de confort et température intérieure désirable, taux de l'humidité optimum. Influence de la structure du bâtiment dans les climats à grandes variations de la température extérieure. Cas des climats chauds et humides. Méthodes de rafraîchissement. E. 5768 (♦).

125-27. La pratique des installations de ventilation. Leurs applications domestiques et industrielles. CHASSEREAU (R.), PIUMATTI (H.); *Chaud-Froid* (mars 1949), n° 27, p. 35, 37, 39, 41, 43, 45, 9 fig. — Schéma d'un réseau de gaines de soufflage d'air et calcul en vue de l'établissement du devis. Calculs en vue de l'exécution. E. 5768 (♦).

Insolation, éclairage naturel.

126-27. Construction des cadrans solaires ou gnomonique. NOËL (P.); Éd. Noël, 19 av. Charles-Péguy, à Sceaux (Seine) (déc. 1943), 30 p., 23 fig., 1 pl. h. t. — Étude du tracé des cadrans solaires, précédée d'un exposé historique de généralités sur le système solaire et d'un résumé de l'histoire de l'astronomie. Indications pratiques pour la construction des cadrans, horizontaux ou verticaux, en un point quelconque de la terre. Cette étude précise et utile se termine par la citation d'un certain nombre de devises anciennes ou modernes qui ornent certains cadrans solaires. E. 6248 (♦).

127-27. L'éclairage naturel des maisons et appartements. Tableaux donnant le coefficient d'éclairage en lumière naturelle. (The natural lighting of houses and flats with graded daylight factor tables). SMITH (T.), BROWN (E. D.); *Nat. Phys. Lab., Depart. Sci. Industr. Res.*, G. B. (avr. 1944), 21 p., 2 fig. — Le but de cette publication est de guider le choix du constructeur pour les dimensions à donner aux fenêtres des maisons et appartements. Une série de tableaux donne: la profondeur de pénétration, la demi-largeur de la surface éclairée et la surface éclairée en fonction de la hauteur de la fenêtre au-dessus du plan de travail et de la largeur de la fenêtre dans diverses conditions d'éclairage (coefficients 2 %, 1 %, 0,5 %, pas d'obstacles, obstacles à 15°, 30°, 45°, 65°). E. 6017 (♦).

PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET LES ACCIDENTS

Acoustique, insonorisation, trépidations.

128-27. Les vibrations du sol, leur mesure et leurs effets. DANTINNE (R.); *Bull. Centre Etudes Gén. Civ. (C. E. R. E. S.)*, Belgique (1948), t. 3, p. 187-198, 4 fig. — Description du « capteur de vibrations » (Philips). Étude des effets de la trépidation

du sol. Énoncé de quelques résultats d'observations de trépidations. E. 6132 (◇).

Protection contre les phénomènes naturels.

129-27. Murs de bâtiments résistant aux tremblements de terre (Building walls resist earthquakes); *Engng. News Rec.* (3 mars 1949), n° 9, vol. 142, p. 58-60, 4 fig. — Pour la construction de l'hôpital des anciens combattants à Fresno (Californie) il a fallu tenir compte de la possibilité des tremblements de terre. Sa construction générale est analogue à celle des bâtiments du même genre, mais les murs sont spécialement construits. La charpente en fer est destinée à supporter les charges verticales et la garniture en béton doit résister aux efforts latéraux. Détails de construction. Étude du conditionnement d'air. E. 5805 (◇).

CIRCULATION ET STOCKAGE DES FLUIDES

Canalisations.

130-27. Embranchements de tuyaux. MAGNE (A.); *Equip. Techn.* (mars 1949), n° 17, p. 13, 15, 31, 4 fig. — Procédés graphiques pratiques permettant d'exécuter : les embranchements d'angle quelconque avec tubulure de moindre diamètre, les embranchements à 45° avec tubulure d'égal diamètre, les embranchements pleins dits « Gigot » et les embranchements « Gigot double ». E. 6360 (◇).

131-27. La conduite sous-marine pour le déchargement des navires pétroliers à Frontignan (Hérault); *Génie Civ.* (1^{er} mai 1949), t. 126, n° 9, p. 168-169, 3 fig. — Description des travaux d'installation d'une conduite sous-marine de 2 700 m de longueur, en tubes d'acier de 30 cm de diamètre. E. 6241 (◇).

132-27. Une installation mobile permet de procéder au revêtement des tuyauteries pour des travaux à exécution rapide (Portable plant coats pipe for fast-moving project). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (mars 1949), vol. 142, n° 9, p. 42-44, 7 fig. — Le projet consistait en la pose d'une canalisation de 410 km entre Malvern et Binghamton. Il comportait 35 000 longueurs de tuyaux d'acier de 203 mm en tranchée. Ces tuyaux d'acier ont été recouverts de revêtements en mastic bitumineux. Une installation spéciale transportable a été utilisée pour ce travail; elle comportait un dispositif pour le nettoyage des tuyaux, une installation de chauffage et de coulée, une installation effectuant la mise en place de revêtement et le refroidissement. Description des différentes parties de cette installation spéciale mobile. E. 5805 (◇).

MOYENS DE RÉALISATION.

ORGANES D'ÉTUDE ET ENTREPRISES

133-27. La rénovation des méthodes dans l'industrie du bâtiment. Les méthodes de l'architecte. BECHMANN (L.); *Constr. Mod.* (avr. 1949), n° 4, p. 115-116. — La suite de l'étude de la rénovation des méthodes montre d'abord comment l'architecte armé du graphique de marche suivra l'exécution, tiendra un journal de chantier et un dossier complet. La réception des travaux et le règlement des comptes du chantier. E. 6184 (◇).

134-27. La rénovation des méthodes dans l'industrie du bâtiment. Les méthodes de l'architecte. BECHMANN (L.); *Constr. Mod.* (mai 1949), n° 5, p. 157-158. — Fin de la série d'articles sur la rénovation des méthodes dans le Bâtiment, avec examen de la situation matérielle de l'architecte. Résumé des principes que doivent respecter tant l'architecte et les entrepreneurs que le client pour aboutir à l'amélioration du rendement et à l'abaissement du prix de revient. E. 6359 (◇).

MATÉRIEL ET OUTILLAGE

Matériel de chantier.

135-27. L'installation et l'équipement à l'Exposition municipale de Travaux publics et de la Santé publique (Plant

and equipment at the Public Health and Municipal Engineering Exhibition); *Muck Shifter*. G. B. (oct. 1948), vol. 6, n° 10, p. 429-437, 8 fig. — Compte rendu de l'Exposition d'Olympia (1948). Le matériel exposé comprend : excavateurs et pelles mécaniques, bulldozers, chargeuses des déblais, bennes basculantes, rouleaux compresseurs pour routes, grues mobiles, installation pour la construction des routes en béton, machines à creuser les tranchées, tracteurs à chenilles, équipements spéciaux pour chemins de fer. E. 6154 (◇).

136-27. Technique moderne et tendances concernant l'installation et l'équipement pour Travaux publics (Modern practice and trends in civil engineering plant and equipment). JOHNSTON (J. R.); *Muck Shifter*, G. B. (nov. 1948), vol. 6, n° 11, p. 455-460, 5 fig. — Mémoire présenté le 8 octobre 1948, à l'Incorporated Plant Engineers. Description et fonctionnement de diverses machines modernes. Bulldozers montés sur pneumatiques. Chargeuses à courroie. Mélangeurs pour béton. Trémie pour le chargement du ciment. Manœuvre de ces machines sur le chantier. E. 6155 (◇).

137-27. Quelques installations et équipements à l'Exposition des Travaux publics municipaux et de la Santé publique (Some plant and equipment at the Public Health and Municipal Engineering Exhibition) *Muck Shifter*, G. B. (nov. 1948), vol. 6, n° 11, p. 489-492, 3 fig. — Dans cette exposition ouverte en novembre 1948 à Olympia on a pu voir différentes installations ou appareils destinés aux Travaux publics : pompes et mélangeurs pour béton. Compresseurs d'air et outillage pneumatique. Rouleaux compresseurs pour routes, excavateurs, tournadozers, etc., construits par différentes firmes. E. 6155 (◇).

138-27. Les pelles mécaniques, leurs caractéristiques d'emploi, leur utilisation. MOREL (H.); *Tech. Mod. Constr.* (avr. 1949), t. 4, n° 4, p. 95-102, 4 fig. — Tableau détaillé de divers modèles de pelles mécaniques existant sur le marché, avec leurs caractéristiques et leurs dimensions, en ce qui concerne les pelles montées sur chenilles, transformées en grue, dragline et benne preneuse. E. 6315 (◇).

139-27. Augmentation de la capacité de la plus grande pelle mécanique du monde (The world's largest shovel made bigger); *Muck Shifter*, G. B. (avr. 1949), vol. 7, n° 4, p. 164-165, 2 fig. — Afin de faire concorder la capacité d'une pelle mécanique avec celle du camion basculant qu'elle doit remplir, il a été décidé de porter la capacité de la pelle à 34,38 m³ au lieu de 30,56 m³. La pelle peut ainsi charger le camion en une seule fois. Le cycle de chargement et de transport peut ainsi être sensiblement abrégé. E. 6158 (◇).

140-27. Le bel effort des constructeurs français de matériel d'entreprise pour les travaux routiers. PIDOUX (Ch.); *Via*, n° 3, p. 49-51, 9 fig. — Exposé servant d'introduction à de prochains articles sur les différents matériels réalisés en France pour l'exécution des travaux routiers. E. 6365 (◇).

141-27. Le matériel routier français. POMMIER (A.); *Via*, n° 4, p. 29-35, 6 fig. — Dans cette première partie, description du matériel de terrassement : pelles, tracteurs, scrapers, camions tous terrains, engins de terrassement à marche continue. E. 6364 (◇).

142-27. Matériel mécanique américain pour la construction des routes (suite) (American road building machinery). WILSON (J. S.); *Engineer*. G. B. (8 avr. 1949), vol. 187, n° 4863, p. 374-376, 3 fig. — Description de divers équipements mécaniques utilisés pour les revêtements bitumineux : mélangeurs, dispositifs pour la mise en place, centrifugeuse, niveleuse, etc... Un deuxième chapitre est consacré à l'équipement mécanique pour les routes en béton. Un troisième, enfin, décrit les appareils destinés à débarrasser les routes de la glace et de la neige et les équipements auxiliaires. E. 5992 (◇).

143-27. Brouette à bride de blocage pour le transport des briques (Brick clamp barrow). *Illustr. Carp. Build* (Ministry of Works), G. B. (15 avr. 1949), 1 p., 3 fig. — Quatre modèles de brouettes ont été présentés. Description de l'un d'eux. Caractéristiques : hauteur 1,37 m, largeur 0,63 m, longueur 0,63 m, poids 43,600 kg. Cette brouette, facile à manier, permet de charger un tas de 40 briques rangées et de les décharger sans déranger leur disposition. Elle peut servir aussi au transport du mortier ou d'autres matériaux de construction. E. 6213 (◇).

144-27. Contrôle électrique du matériel de manutention dans les installations mécanisées. Description de différents types de contrôle électrique. FELTBOWER (B.); *Equip. Mécan. Mines, Carr., Grandes Entrep.* (mars 1949), n° 233, p. 8-13, 6 fig. — Traduction d'un article du « Mechanical Handling » de sept. 1947

ou sont étudiés : le contrôle à distance, les types d'équipements de contrôle, la protection des moteurs de transporteurs, les méthodes de contrôle par poussoir unique et sélecteur ou par bouton-poussoir particulier à chaque contacteur, les relais à retardement, l'indication à distance, les interrupteurs de décharge de goulottes. Schémas d'installations. E. 6066 (◇).

Sécurité.

145-27. **Manutentions.** CAUDINOT; *Sécur. Prév. Feu.* (sept.-oct. 1948), t. 4, n° 9/10, p. 263-271, 10 fig. — Évaluation des efforts fournis par les différents modes de manutention. Mesures préventives contre les accidents relatifs au personnel, au lieu de travail, au stockage des matériaux, à l'organisation du travail. Mesures particulières concernant le portage, les appareils et les véhicules de manutention à bras. E. 5722 (◇).

146-27. **Les accidents de rupture.** DORIDO (E.); *Equip.*

Techn. (mars 1949), n° 17, p. 17, 19, 21, 23. — Rappel de la réglementation en vigueur concernant la prévention des accidents dus à la rupture des appareils et engins utilisés dans le bâtiment et les Travaux publics. Comment mettre en pratique ces prescriptions et réaliser les conditions normales propres à assurer la sécurité dans le travail pour les échafaudages, les câbles et cordages, les couvertures en amiante-ciment, en tôles ondulées; en vitrages, les lattis de toiture, les hourdis de planchers. E. 6360 (◇).

147-27. **Danger de l'électricité.** TROYON (J.); *Rev. Bois* (mai 1949), vol. 4, n° 5, p. 23-24, 26-27, 6 fig. — Quantité dangereuse d'électricité traversant le corps : 25 milliampères/alternatif 50 milliampères/continu. Comment se produisent les accidents électriques. Comment les éviter : faire connaître le danger, le signaler, moyens propres à assurer la protection. Les dangers d'incendie et de brûlures. L'organisation des premiers secours contre les brûlures et contre les incendies. Rappel de la législation en vigueur concernant la prévention des incendies d'origine électrique. E. 6358 (◇).

LES OUVRAGES

ÉLÉMENTS D'OUVRAGES

ÉLÉMENTS PORTEURS

Verticaux.

148-27. **Utilisation de barres pleines d'acier soudé pour la construction d'un pylône de radio d'une hauteur de 228, 75 m** (Solid steel rod welded for 750-Ft. radio tower). Mc CORMICK (J. B.); *Constr. Methods*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 31, n° 2, p. 78-79, 6 fig. — Ce pylône a été édifié pour remplacer un pylône de 122 m, il est du type moderne vertical, d'un poids total de 47,5 t et à section triangulaire, il est constitué par des barres d'acier soudées de 10 cm de diamètre entrecroisées par des traverses de 35,6 mm. Procédé de construction. Détails d'exécution du soudage des tiges. E. 6105 (◇).

149-27. **Principes pour la construction des murs creux** (Principles in the construction of cavity walls). HOLT (K. W.); *Highw. Bridges Aerod.* (6 avr. 1949), vol. 15, n° 770, p. 8, 1 fig. — A l'origine, les murs creux n'étaient construits qu'à l'aide de briques, mais depuis la guerre et par raison d'économie, on a également construit des murs creux en béton coulé sur le chantier. Caractéristiques de ces constructions. Semelles pour murs creux. Précautions spéciales pour éviter la chute du mortier. Scellement aux raccords des murs avec les portes et fenêtres. Résistance des murs aux différentes poussées auxquelles ils sont soumis. E. 5999 (◇).

150-27. **La condensation dans les cheminées d'habitations** (Condensation in domestic chimneys). *Build. Res. Stat.* (avr. 1949), n° 5, 5 p., 1 fig. — Les symptômes constatés sont les suivants : taches sur les murs extérieurs et intérieurs ou plafonds adjacents, dilatation du mortier, fissures des revêtements, désagrégation des conduits de fumée, corrosion des tuyauteries. Causes de ces accidents et mesures à prendre dans le cas de cheminées endommagées. Disposition à donner aux cheminées dans les maisons neuves pour éviter ces détériorations. E. 6163 (◇).

Horizontaux.

151-27. **Recherches effectuées sur des portions de poutres et sur des poutres en béton armé de grande hauteur d'âme** (Nagra undersökningar rörande skivor och höga balkar av armerad betong). NYLANDER (H.); *Kungl. Tekniska Högskolans*, Suède (1946), n° 2, 66 p., nombr. fig. — De nombreux essais sur poutres ou éléments de poutres de grande hauteur d'âme, en béton armé, ont montré que la répartition des contraintes et la formation des premières fissures se produisaient dans des conditions très différentes de celles habituellement constatées sur les poutres de section normale. On est amené à modifier notablement l'armature

métallique, de façon à obtenir la résistance optimum. De nombreux schémas et graphiques illustrent les résultats des essais. E. 6022 (◇).

152-27. **Sur le calcul des planchers champignons, selon le procédé des châssis de substitution** (Zur Berechnung von Pilzdecken nach dem Verfahren der stellvertretenden Rahmen). SWIDA (W.); *Bauplan. Bautech.*, All. (janv. 1949), vol. 3, n° 1, p. 21-23, 16 fig. — Cette étude est une extension du procédé du châssis de substitution de Marcus aux couvertures en forme de champignon, dont les bords sont en surplomb. Ainsi que le montre la comparaison avec la méthode rigoureuse, ce procédé donne des résultats suffisamment précis. Calculs et épures de statique graphique avec applications numériques à deux exemples. E. 5502 (◇).

Inclinés.

153-27. **Vues d'ensemble sur les différents modes de couverture.** VITALE (F.); *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 11-13. — Utilisation des combles à l'origine. Comment se présente le problème du comble à l'heure actuelle et celui du choix du matériau de couverture. Toitures définitives et temporaires. Toitures continues (toitures-terrasses ou courbes), perfectionnement des procédés d'étanchéité. Toitures à grands éléments (cuivre, plomb, zinc, aluminium, béton), essai de préfabrication. Toitures à petits éléments (ardoises, tuiles), leur entretien. Conclusion. E. 5598 (◇).

154-27. **Les toitures-terrasses.** MEUNIER (A.), *Centre Inform. Docum. Bât.* (Répert. Techn. 1948), p. 15-17, 19. — Place légitime de la toiture-terrasse dans la construction; durée et isolation thermique de ce genre de couverture. Leur prix (avec ou sans dalle flottante) comparé à celui des autres modes de couverture. Les facteurs de réussite des toitures-terrasses, règlements existants, matériaux, mise en œuvre. Particularités du problème des toitures-terrasses. Liaison des métaux avec l'étanchéité. E. 5598 (◇).

OUVRAGES LIÉS DIRECTEMENT A LA VIE DE L'HOMME

HABITATIONS

155-27. **Compte rendu d'essais de charge de quelques prototypes de maisons d'après-guerre** (Survey of loading tests on some post-war house prototypes), SHORT (A.), SIMMS (L. G.); *Struct. Engr.*, G. B. (févr. 1949), 98 p., 17 fig. — Les essais effectués ont montré que seulement 10 % des maisons éprouvées ont subi des déformations qui dépassent une valeur admissible.

Les points les plus importants sont : la rigidité des joints entre poutres et piliers ; la liaison effective du plancher aux pièces supportant la charge ; la rigidité des assemblages des cloisons intérieures avec les éléments principaux ; la rigidité de l'assemblage des murs à la charpente. E. 5931 (◇).

Conditions générales et dépendances.

156-27. **Aperçus de technique sanitaire sur l'établissement des latrines pour collectivités** (Gesundheitstechnische Gesichtspunkte für die Einrichtung von Massenaborten). VICK (F.); *Ges. Ing.*, All. (avr. 1949), n° 7-8, p. 125-128, 4 fig. — Conditions à réaliser et précautions à prendre. Éviter le pullulement des mouches et la pollution des eaux. L'ensevelissement des matières fécales n'est qu'un pis-aller. Le système des tinettes est périmé : il exige trop de main-d'œuvre et de matériel, mais est parfois inévitable. Fosses étanches et formes communiquant avec les eaux du sol. Latrines à trou foré dans le sol (prof. 6 à 7 m). Fosse à combustion. Fermeture du siège : couvercle automatique. Désinfection. E. 6095 (◇).

Habitations individuelles.

157-27. **Sur l'état des procédés de construction des maisons d'habitation. I. Procédés n'utilisant pas d'éléments préfabriqués importants** (Ueber den Stand der Wohnbauweisen I. Bauweisen ohne grosse Fertigteile). LEONHARDT (F.); *V. D. I.*, All. (mai 1948), vol. 90, n° 5, p. 129-134, 16 fig. — En raison du grand nombre d'habitations à reconstruire après la guerre, les procédés anciens, dans lesquels 70 % du travail était improductif, doivent faire place à des méthodes industrielles ; en outre on devra se préoccuper davantage de l'isolation thermique et acoustique. Dans ce premier article : bâtiments utilisant peu d'éléments préfabriqués de grandes dimensions et examen des procédés de construction des murs et toitures. On déconseille l'usage des briques comme trop coûteux en main-d'œuvre et en charbon, et on préconise l'emploi de pierres factices creuses en béton, de dimensions moyennes (30 à 50 cm), dont plusieurs modèles sont représentés. E. 4460 (◇).

158-27. **Problèmes posés par l'habitat rural**. GOVIN (L.); *Constr. Mod.* (mai 1949), n° 5, p. 171-175, 8 fig. — Étude du hangar agricole. Dimensions nécessaires. Qualités générales exigées. Dispositions constructives. Exemples d'utilisation d'un hangar à des fins diverses. E. 6359 (◇).

AUTRES OUVRAGES DESTINÉS A L'INDIVIDU

Savoir.

159-27. **Constructions scolaires. Instructions du 28 janv. 1949 relatives aux conditions d'installation des lycées et des collèges**. *Constr. Mod.* (mai 1949), n° 5, p. 178-183 (fin). — Les instructions donnent les normes pour l'installation des services communs pour les sciences, pour les classes d'histoire et géographie, les salles de dessin, les salles de musique, les bibliothèques, les terrains de jeux et de sport, le gymnase. Elles réglementent ensuite les services communs d'internat : salles à manger, cuisines, lingerie, buanderie, infirmerie, puis les services séparés : dortoirs, salle d'hygiène, et c., puis les services généraux : bureaux, parloir, salle des fêtes, loge de concierge et enfin les logements du personnel. Ces instructions sont suivies d'une circulaire relative à la reconstruction des établissements du second degré dans les villes sinistrées et aux cités scolaires. E. 6359 (◇).

160-27. **Constructions scolaires. Les constructions du second degré**. PESCHARD; *Constr. Mod.* (avr. 1949), n° 4, p. 123-126, 3 fig. — Considérations sur les principes d'installation d'une Cité scolaire et description, comme exemples de conception, des projets d'un internat de jeunes filles à Saint-Cyr, de la cité scolaire d'Evreux et de celle du Château Cantini à Marseille. E. 6184 (◇).

161-27. **Instructions du 28 janvier 1949 relatives aux conditions d'installation des lycées et des collèges**. *Constr. Mod.* (avr. 1949), n° 4, p. 127-130, 2 fig. — Ces instructions du Ministère de l'Éducation Nationale, après des considérations sur le groupement des divers cycles d'enseignement et leurs conditions pédagogiques et matérielles, donnent des indications sur le choix du terrain et les surfaces nécessaires d'après le nombre d'élèves. Ensuite elles donnent des prescriptions pour la disposition, les

dimensions et l'équipement des locaux des services d'externat (ou d'enseignement), des services d'internat, des services généraux et des logements. E. 6184 (◇).

Loisirs.

162-27. **L'hippodrome de la Zarzuela, à Madrid** (El hipódromo de la Zarzuela, en Madrid). *Informes Construcción*, Espagne (avr. 1949), n° 10, p. 1-12, 16 fig. — Ce nouvel hippodrome se distingue par sa situation pittoresque, par le parti que l'on a tiré de celle-ci pour l'esthétique, par l'harmonie que présentent entre elles les diverses constructions et surtout par la hardiesse et l'originalité des tribunes alignées, au nombre de trois. La toiture en béton armé présente un porte-à-faux de 12,80 m en avant de la face avant des portiques et pour assurer l'équilibre elle se prolonge à l'arrière par un porte-à-faux notablement moindre à l'extrémité duquel est suspendue par des tirants la toiture, plus basse, de la salle des paris. Plans et photos. E. 6232 (◇).

OUVRAGES D'UTILITÉ PUBLIQUE

Alimentation en eau.

163-27. **Tubes filtrants en béton armé. Nouvelle méthode suisse** (Filter tubes of reinforced concrete. New Swiss method). MUCK SHIFTER. G. B. (avr. 1949), vol. 7, n° 4, p. 143, 2 fig. (d'après Technische Rundschau n° 43, 1948). — Pendant la guerre, en raison de la pénurie de métaux, un ingénieur suisse a mis au point un système de tubes filtrants en béton. L'armature de ces tubes est un métal déployé disposé en cage d'écureuil. Ces tubes sont utilisés pour le filtrage de l'eau du sous-sol, dans les puits. E. 6158 (◇).

164-27. **Vingt ans d'évolution de la filtration rapide dans différents pays**. MICHAU (R.); *Travaux* (avr. 1949), n° 174, p. 180-184, 2 fig. — Suite de l'étude de la filtration rapide. Examen des réalisations allemandes, suisses, françaises. Résumé de l'évolution en France. Conclusion. Bibliographie. E. 5852 (◇).

165-27. **Comment étudier les postes de pompage des prises d'eau en rivière** (How to design river intake pumphouses). ROBERTS (S. B.); *Engng News Rec.* (3 mars 1949), vol. 142, n° 9, p. 52-56, 8 fig. — Le choix de l'emplacement est généralement assez restreint, mais le poste de pompage doit être aussi près que possible de l'usine et facilement accessible. Il existe deux sortes de postes de pompage : poste sec, poste noyé. Étude du poste de pompage. Poids et forme du bâtiment, caractéristiques de chacun des deux types. Crépines de prise d'eau. Choix des pompes. Tuyauteries. Considérations diverses. E. 5805 (◇).

166-27. **La technique des réseaux de distribution d'eau** (Water supply engineering). BABBITT (H. E.), DOLAND (J. J.). Éd. : Mc Graw-Hill Publ. Cny, Ltd, Londres, W. C. 2, 4^e éd. (1949), 1 vol., 637 p., nombr. fig. — Ouvrage relatif aux questions d'alimentation en eau et de réseaux de distribution d'eau. Eaux, puits, digues, déversoirs, vannes, pompes. Étude, construction et entretien des réseaux. Épuration et désinfection. E. 6109 (◇).

167-27. **Construction de l'aqueduc de la Delaware en vue d'augmenter de 50 % l'alimentation en eau de New-York** (Delaware aqueduct to increase New York's water supply fifty per cent). ARMSTRONG (R. W.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 19, n° 2, p. 17-21, 7 fig. — Ce nouvel aqueduc doit fournir à New-York plus de 2 milliards de m³ d'eau par jour. Le système comprend trois réservoirs et un tunnel sous pression d'une longueur de 137 km. Les trois barrages de Meriman, Neversink et Downsville sont des barrages en terre. Le tunnel est à une profondeur variant entre 91,50 m et 762 m au-dessous du niveau du sol. Son diamètre augmente à mesure qu'il s'approche de New-York et il atteint 6 m au maximum. On prévoit la mise en service du système en 1955. E. 6149 (◇).

Hygiène publique.

168-27. **Un vaste plan d'assainissement en voie d'achèvement** (A vast sewerage scheme nears completion). *Concr. Quarterly*, G. B. (janv. 1949), n° 5, p. 18-21, 4 fig. — Le développement des logements a nécessité une extension sans précédent de travaux : Maple Lodge doit desservir une population de plus d'un demi-million d'habitants. La plus grande partie des eaux d'égouts est pompée par une station de pompage située à Jumper Hill. Le plan général comporte les égouts de la station de pompage à l'usine d'épuration, les dispositifs de traitement des eaux d'égouts,

les bassins de décantation, les bassins d'aération, l'usine de traitement des boues, un pont-passerelle et une route en béton, ainsi que la centrale fournissant l'énergie. La plupart des égouts sont des tuyaux de béton à ciel ouvert; certains construits en tunnel en terrain calcaire sont en éléments préfabriqués. E. 5996 (◇).

169-27. Mesures techniques de protection contre les rats (Technische Massnahmen zur Rattenabwehr). Von BECKER (K.). *Ges. Ing.*, Al (avr. 1949), n° 7-8, p. 129-133, 6 fig. — Constructions urbaines : murs extérieurs et fondations doivent résister aux rats : éviter les espaces vides sous les planchers, faire les murs extérieurs lisses. Veiller spécialement aux canalisations pour eaux et pour câbles, aux égouts. Barrages à rats dans les évacuations. Difficultés spéciales dans les constructions suburbaines ou à la campagne. Maisons démontables. Constructions en bois. Moulins. E. 6095 (◇).

170-27. La préfabrication du revêtement en béton armé d'un égout permet une construction solide et économique. (Precast reinforced concrete sewer tunnel lining provides sound economical structure). FREUDENTHAL (A. M.), *Civ. Engng.*, U. S. A. (mai 1948), vol. 18, n° 5, p. 36-38, 7 fig. — Pour la construction, à Tel-Aviv, en Palestine, d'un tunnel pour égouts de 6,9 m de long et d'un déversoir à la mer, on a été amené, par suite du manque d'acier, de bois et de matériel convenable, et aussi à cause des conditions géologiques, à adopter une solution spéciale qui peut être applicable dans d'autres cas semblables. Le revêtement du tunnel est constitué par des éléments annulaires en béton armé de 51 cm de large et 127 cm d'épaisseur. Procédé de percement du tunnel. Construction du déversoir. E. 6150 (◇).

171-27. La construction d'une voûte en acier permet d'accélérer la réparation d'un égout endommagé par suite d'une explosion (Steel arch construction expedites repair of explosion-damaged sewer). HUTCHINS (R. E.), *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 46-48, 5 fig. — Une explosion s'étant produite dans un égout de 86 m de long et d'un diamètre de 2 m à 2,33 m, il a été procédé ainsi, pour le déblaiement et la réparation du tunnel endommagé : 1° dégagement des anciennes briques jusqu'aux naissances; 2° coulée d'un béton armé avec gouttière sur l'ouvrage en briques; 3° mise en place d'arcs d'acier prenant appui sur cette gouttière; 4° remplissage de la gouttière au scellement d'asphalte. Les réparations ont été difficiles à cause de la température élevée régnant au moment des travaux. E. 6166 (◇).

OUVRAGES UTILISANT L'ACTIVITÉ DE L'HOMME

OUVRAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

Production.

172-27. Usine à gaz de Ponders End. (Ponders End gas works). *Cement Conc. Assoc.*, G. B., 12 p., 14 fig. — Cette nouvelle usine remplace l'ancienne devenue insuffisante. Description de l'installation d'évacuation des eaux usées, des dispositifs de manutention du charbon de l'usine de carbonisation, des installations de manipulation du coke, des appareils purificateurs pour le gaz et de l'usine de traitement des liquides. Toutes les constructions sont en béton armé, associé avec des poutres et fermes métalliques. E. 6206 (◇).

173-27. Cheminée et bureaux en béton armé à la Centrale de la Vallée de la Bradford Corporation (Reinforced-concrete chimney and offices at the Valley Power-Station at the Bradford Corporation). CARR (Th. H.), *J. Instn Civ. Engrs.*, G. B. (avr. 1948), n° 6. — Description de la construction d'une cheminée en béton armé de 107 m de hauteur, de 7,3 m de diamètre intérieur à la base et de 6,8 m au sommet. Détermination des dimensions. Travaux de construction. Forages d'essais et battage des pieux. Radier. Mode de bétonnage entre coffrages de 92 cm de hauteur relevés après coulage de chaque tranche. Revêtement intérieur en briques. Échelons en bronze. Ouvrages accessoires. Protection contre la foudre. Bâtiments annexes. E. 5944. Traduction I. T., 178, 19 p. (◇).

Stockage et vente

174-27. Stockage des hydrocarbures sous pression. Réservoirs système A. Caquot. *Techn. Mod. Constr.* (avr. 1949), t. 4, n° 4, p. 103-106, 3 fig. — Exposé des avantages du type de

réservoir de M. CAQUOT, pour le stockage des carburants. Avantages de conception donnant une économie de poids. Avantages d'exploitation réduisant les pertes et la corrosion. Facilités d'entretien. Sécurité. Facilité d'éthylation, de chauffage et de calorifugeage. Capacités prévues de 1 100 à 12 800 m³. E. 6315 (◇).

Retenue d'eau et production d'énergie.

Hydraulique.

175-27. A travers les chantiers. L'industrialisation de l'Algérie. J. Bdt. (23 avr. 1949), n° 586, p. 1, 3. — Exposé des travaux d'aménagement de l'Oued Agrioun en Petite Kabylie qui permettront d'obtenir annuellement 28 000 000 de kilowatts-heure. E. 6090 (◇).

176-27. Quelques récentes applications de l'Electro-technique en Suisse. Notes de voyage. Centrale à accumulation. L'installation du Lucendro et l'usine hydro-électrique d'Airolo. LAMBOTTE (A.), *Sci. Techn. Belg* (1949), n° 4, p. 77, 79, 4 fig. — Description des travaux de l'usine de Lucendro. Barrage à contreforts multiples, prise d'eau et galerie d'aménée, chambre d'équilibre et chambre des vannes, conduite forcée et collecteur. E. 6297 (◇).

Barrages et digues.

177-27. Barrage des Beni-Bahdel. Le problème des fuites sous l'évacuateur de crues. GAUTIER (M.), *Bull. Centre Etudes Gén. Civ. (C. E. R. E. S.)*, Belgique (1948), t. 3, p. 129-144, 4 fig., 2 pl. h. t. — Exposé du problème posé par la constatation de résurgences lors de la mise en eau de l'évacuateur de crues du barrage des Beni-Bahdel. Etude hydrogéologique. Lutte contre les fuites par construction d'un rideau exécuté par injections. E. 6132 (◇).

178-27. Essais sur modèles réduits pour des barrages-déversoirs. LAMOEN (J.), *Bull. Centre Etudes Gén. Civ. (C. E. R. E. S.)* Belgique (1948), t. 3, p. 359-503, nombr. fig. 8 pl. h. t. — Exposé complet des études concernant l'effet d'échelle dans les essais hydrauliques. Le premier chapitre donne des généralités sur le barrage des Grosses Battes et sur les déversoirs jaugeurs du barrage d'Eupen. Le second chapitre traite des essais sur un modèle complet au 1/50 du barrage des Grosses Battes. Le troisième chapitre étudie pour ce barrage l'influence du niveau aval sur le niveau amont et le dernier chapitre relate les essais sur des modèles aux échelles de 3/50 et 1/100. E. 6132 (◇).

179-27. Les barrages de la Società Adriatica d'Elettricità en Vénétie. SEMENZA (C.), *Bull. Techn. Suisse Romande* (23 avr. 1949), n° 9, p. 105-117, 17 fig. — Après un aperçu général sur l'état de la technique des barrages en Italie et des considérations à ce sujet, détails sur les barrages de la Società Adriatica d'Elettricità tels que le barrage sur le Lumiei de 134 m de hauteur, le barrage sur le Piave en arc de 160,9 m de rayon. E. 6133 (◇).

180-27. Matériaux pour béton utilisés au barrage des Narrows (Concrete materials for Narrows dam). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (3 mars 1949), vol. 142, n° 9, p. 38-41, 4 fig. — Les matériaux utilisés au barrage de Narrows ont été sélectionnés avec soin. Pour fabriquer les 229 000 m³ de béton nécessaires on a employé du sable et du gravier provenant du petit Missouri et très sérieusement lavé et classifié. Des fines additionnelles ont été ajoutées. Le ciment provient directement d'une usine à ciment de Okey (Arkansas). Description des installations de criblage, de transport et de mélange. Installation de bétonnage automatique E. 5805 (◇).

181-27. Etude d'un barrage en terre et enrochements servant de déversoir en cours de construction (Earth and rockfill dam designed for overflow during construction). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (31 mars 1949), vol. 142, n° 13, p. 44-47, 6 fig. — Afin d'éviter les dépenses élevées dues à la construction de grands tunnels de dérivation lors de la construction des barrages, les ingénieurs américains ont adopté un nouveau procédé applicable aux rivières à gorge profonde, qui consiste à construire un barrage en terre et enrochements pour permettre le déversement des eaux de crue en attendant d'imperméabiliser les parois de la gorge. Exemple d'application au barrage Valsequillo, sur la rivière Atoyac (Mexique). E. 6100 (◇).

182-27. Construction du projet de Watauga (Constructing the Watauga project). LEONARD (G. K.), MATTERN (D. H.), *Civ. Engng.*, U. S. A. (mai 1948), vol. 18, n° 5, p. 21-26, 82, 13 fig. — Le projet comporte l'édification d'un barrage d'une hauteur

maximum de 97,50 m. La crête du barrage doit avoir 275 m de long et 9,75 m de large. Emplacement du barrage. Description du remblayage en terre et roche. Le barrage est complété par un évacuateur de crues et par un système de dérivation. Pour loger le personnel employé à ces travaux on a aménagé un camp pouvant recevoir 400 ouvriers. Centrales hydroélectriques prévues. E. 6150 (◇).

183-27. Une technique moderne et des contrôles rigoureux permettent d'obtenir un béton de bonne qualité pour le barrage de Ross (Modern design practice and rigid controls produce sound concrete in Ross dam). FAULKNER (H. F.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 26-31, 82, 13 fig. — Pour construire le barrage de Ross, qui fait partie du plan d'aménagement de la rivière Skagit, on a utilisé le béton « classe A » pour le corps principal, le béton « classe B », plus riche, au voisinage des fondations et des ancrages ainsi que pour les revêtements d'une épaisseur de 1,80 m des faces amont et aval. Prélèvement d'échantillons aux fins d'analyse. Spécification du béton. Description de l'équipement, mélange, transport. Durcissement. Des contrôles rigoureux ont été opérés pendant toutes les opérations de construction. Coopération étroite entre les services d'études, les ingénieurs et les entrepreneurs. E. 6166 (◇).

184-27. Le conseil hydroélectrique du Nord de l'Ecosse. Projets du Loch Sloy et du Tunnel Garry (North of Scotland hydro-electric board. The Loch Sloy and Tunnel Garry schemes). *Conc. Quarterly*, G. B. (janv. 1949), n° 5, p. 8-14, 11 fig. — Le projet du Loch Sloy comporte un barrage de 490 m de long et de 49 m de haut, une centrale hydroélectrique et une série d'aqueducs. Difficultés rencontrées dans la construction. Tunnel d'amenée centrale. Le projet du Tunnel Garry comprend 3 barrages et 3 centrales. Le barrage d'Errochty a 400 m de long et 39 m de haut; celui de Clunie 117 m de long, 19,80 m de haut. Le barrage de Pitlochry est beaucoup moins important. Caractéristiques de l'ouvrage. État d'avancement des travaux. E. 5996 (◇).

185-27. Barrage de Kanopolis et réservoir à usage multiple (Kanopolis dam and multiple-purpose reservoir). *Corps Engrs. Kansas City District* (mai 1947), 11 p., fig., 2 pl. h. t. — Le barrage de Kanopolis primitivement conçu pour la protection contre les crues, sert en outre pour l'alimentation en eau à usage domestique et sera probablement un jour utilisé pour la production d'énergie hydroélectrique. Il est du type : barrage à remblayage en terre. La crête a une hauteur de 469 m et une longueur de 4 822 m. Le volume du remblayage en terre atteint 11 206 000 m³. Le prix de revient est évalué à 12 025 000 dollars. E. 6002 (◇).

186-27. Le barrage du Comté d'Harlan et le réservoir à usages multiples (Harlan county dam and multiple-purpose reservoir). *Corps Engineer - War Depart.*, U. S. A. (janv. 1948), 13 p., fig., 3 pl. h. t. — Ce barrage a été construit à l'origine pour la protection contre les crues du bassin de la Republican River. Un réservoir d'une capacité de près de 2 milliards de m³ est en voie d'aménagement pour l'irrigation des terres placées en aval. Le barrage est du type à remblayage en terre. L'élévation de la crête est de 600 m, sa longueur de 3 600 m. On estime à 28 900 000 heures le temps de travail nécessaire pour achever les travaux. E. 6001 (◇).

Organes annexes, puits de décompression.

187-27. Recherches sur le fonctionnement simultané des barrages mobiles en déversoirs et en vannes de fond. ESCANDE (L.); *Houille Blanche* (1948), n° spécial « B », p. 728-742, nombr. fig. — Recherches expérimentales sur l'écoulement simultané en déversoir et par vannes de fond. Dispositif utilisé. Étude de l'écoulement en l'absence d'oscillations avec large aération au dos de la vanne et sans retenue aval. Comparaison avec les résultats classiques. Étude du phénomène alternatif : conditions d'existence, périodes, influence de l'aération du dos de l'écran et de sa forme. E. 6010 (◇).

188-27. Utilisation de portes à double secteur sur un barrage suisse (Double sector gates used at Swiss dam). KOLLBRUNNER (C. F.); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (21 avr. 1949), vol. 142, n° 16, p. 21, 3 fig. — Ces portes, installées sur le barrage de la centrale hydro-électrique de Ruppertswil-Auenstein, sont composées de deux éléments à recouvrement. Elles ont 22 m de long et lorsqu'elles sont complètement fermées elles élèvent le niveau de l'eau d'une hauteur de 8 m. Avantages du système. E. 6263 (◇).

189-27. Portes-vannes semi-automatiques sur un déversoir de 183 m (Semi-automatic floodgates on a 600 ft spillway). BRACE (H. P.); *Engineer*, G. B. (6 mai 1949), vol. 187, n° 4867, p. 509-510, 1 fig. — Le dispositif installé sur le déversoir du bar-

rage de Kurra Falls (Nigéria) consiste en des portes d'une épaisseur de 61 cm remplaçant les batardeaux en planches amovibles primitivement utilisés. La première porte repose sur un support lié à l'ancrage du déversoir et chacune des portes suivantes repose contre la précédente. De cette façon, quand le support de la première porte est enlevé, cette porte est ouverte par la pression de l'eau, ce qui a pour effet de libérer la deuxième porte et ainsi de suite. Commande semi-automatique. E. 6274 (◇).

190-27. Type d'ouvrage de prise d'eau sur torrents (Di un tipo di opera di presa da torrenti). AVOLIO de MARTINO (G.); *Energia Elettr.*, Ital. (janv. 1949), vol. 26, n° 1, p. 1-13, 18 fig. — Description d'une prise d'eau sur un torrent, avec dispositif limitant le débit de la prise à une valeur peu supérieure au volume utilisable quel que soit le débit du torrent en cas de crue. L'ouvrage comprend successivement : une grille de prise d'eau, un épierreur, un canal avec déversoir latéral éliminant la plus grande partie de l'eau captée en excédent, un venturimètre, un désableur avec un second déversoir latéral pour le reste de l'excédent, enfin le canal de sortie conduisant à une galerie de 3,5 km aboutissant au réservoir. Débit maximum prévu : 30 mc/s; débit capté 4 mc/s. Calculs hydrauliques; profils en long et en travers. Étude préalable du modèle réduit au 1/25. E. 5873 (◇).

VOIES DE COMMUNICATION ET TRAVAUX A LA MER

Voies routières.

191-27. Le problème routier en Espagne. ESCARIO (J. L.); *Rev. Gén. Routes* (févr. 1949), n° 205, p. 17-18, 3 fig. — Description du réseau routier espagnol. Catégories de routes. Types de revêtements. Exposé de l'intérêt économique de l'amélioration du réseau. Financement possible par impôt sur l'usager. E. 6143 (◇).

192-27. L'amélioration des spécifications permet de réduire le prix de revient des routes à grand trafic (Improved specifications reduce highways costs). WINKELMAN (D. W.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (mai 1948), vol. 18, n° 5, p. 28-31, 6 fig. — La coopération étroite entre les ingénieurs d'études et les entrepreneurs permet d'établir des spécifications très serrées, grâce auxquelles on peut abaisser les prix de revient. Recommandations diverses d'ordre général en vue de cette fin : spécification de résultats et non de procédés, élimination des raffinements superflus, normalisation très poussée, règlements à l'entrepreneur par paiements échelonnés. Application de ces principes à la construction d'une route à grand trafic. E. 6150 (◇).

193-27. Journées techniques du Maroc (Marrakech 8-11 mars 1949). *Travaux* (mai 1949), n° 175, p. 221-227. — Cet article est une analyse des exposés faits aux journées techniques du Maroc organisées par l'Association Technique de la Route et portant sur les sujets suivants : piste d'envol au Maroc, par G. COUPRIE; les chaussées du réseau routier marocain, par M. GERBIER; carrières et matériaux de viabilité, par A. MONIN; chantiers routiers du Maroc, par M. MARTIAL; distribution des liants hydrocarbonés et applications superficielles, par M. BERTHET; chantiers de cylindrage et de revêtements divers, par L. IMBERT. E. 6240 (◇).

194-27. Une œuvre de paix accomplie en des temps difficiles. *Via* n° 3, p. 9-34, nombr. fig. — Description des travaux de la route de Susten reliant la vallée de l'Aar à la vallée de la Reuss et construite de 1938 à 1943. Tracé. Géologie et climat. Caractéristiques techniques des constructions. Gabarit. Ponts et viaducs, tunnels. Profils en travers. Revêtements. Prix de revient. Cet article est rédigé en français et en allemand. E. 6365 (◇).

195-27. Une méthode rationnelle et générale de calcul des fatigues des ouvrages rigides et souples. *Via*, n° 6, p. 76-83, nombr. fig. — Aperçu de la méthode présentée par le D^r L. Fox pour le calcul des contraintes dans un milieu élastique à deux couches dont la couche supérieure a une épaisseur finie et la couche inférieure une épaisseur indéfinie. La charge est supposée uniforme et appliquée sur un cercle. Considération de deux cas limites : surface de séparation parfaitement rugueuse ou parfaitement lisse. Utilisation d'une méthode de relaxation. Pour plusieurs cas, au moyen de graphiques, contraintes en différents points sous forme de lignes isobares. E. 6073 (◇).

196-27. Elargissement mécanique des routes à grand trafic (Mechanized highway widening). *Constr. Methods*, U. S. A. (mars 1949), vol. 31, n° 3, p. 54-57, 10 fig. — Le problème consistait à élargir deux chaussées de 4,90 m et 5,50 m pour les porter à 6,70 m. On a d'abord creusé une tranchée le long de la dalle

en béton existante, puis on a roulé le sous-sol pour le compacter et on l'a recouvert d'une couche de pierres calcaires convenablement mouillées, après quoi on a coulé le béton. Après prise, celui-ci a reçu un revêtement asphaltique puis la couche de finition. Matériel employé. E. 6198 (◇).

197-27. **56 km de routes en béton pour la cité de Harold Hill** (Thirty-five miles of concrete roads). *Highw. Bridges Aerod* (20 avr. 1949), vol. 15, n° 772, p. 4, 2 fig. — Plus de 56 km de routes en béton sont en cours de construction dans le Comté d'Essex pour une cité de 7 600 habitations. Les routes sont de 6 largeurs différentes : 18,30 m au total avec voie de 9,15 m pour les véhicules; 15,25 m avec voie de 7,32 m, 12,20 m-6,10 m; 9,15 m - 4,88 m; et 4,27 m-2,44 m. Description des sousassements et des procédés de construction mis en œuvre. E. 6102 (◇).

198-27. **Matériaux pour joints de routes en béton** (Concrete road jointing materials). MILLARD (R. S.), CRITCHELL (P. L.); *Highw. Bridges Aerod*, G. B. (27 avr. 1949), vol. 15, n° 773, p. 1-2. — Conditions imposées aux matériaux pour joints de routes. Les joints coulés à chaud présentent l'inconvénient de pouvoir éventuellement être trop chauffés et de perdre ainsi leurs propriétés. Certains compounds contiennent des poudres minérales qui tombent à la partie inférieure du scellement. Le froid affecte également certains joints. Recherches à poursuivre sur les compounds coulés à chaud et les produits mis en place à froid. E. 6025 (◇).

199-27. **Les Cut-backs de raffinage français. Leurs caractéristiques. Leurs utilisations. Leur comportement.** FILIPPI (J.); *Rev. Gén. Routes* (févr. 1949), n° 205, p. 30-38, 6 fig. — Examen des caractéristiques des Cut-backs français, des points de vue de la viscosité, de la pénétration du résidu après évaporation du solvant, de la volatilité du solvant. Étude de l'utilisation et du comportement pour les modes d'emploi suivants : imprégnation, pénétration ou semi-pénétration, enduits superficiels mono ou multicouches, revêtement épais par mélange préalable aux matériaux. E. 6143 (◇).

200-27. **L'état colloïdal et les phénomènes capillaires dans les préparations et les techniques routières.** DURIEZ (M.); *Via*, n° 4, p. 6-28, nombre fig. — Aperçu des phénomènes colloïdaux d'ordre général, puis examen des phénomènes colloïdaux dans la technique routière et les techniques qui s'y rattachent. Étude des émulsions de liants hydrocarbonés, des mélanges goudron-bitume, de la structure et de l'adhésivité des liants hydrocarbonés, de la pénétration capillaire des matériaux et des terres par ces mêmes liants. Traduction résumée de cet article en espagnol, anglais et allemand. E. 6364 (◇).

201-27. **La pratique des liants hydrocarbonés. Emulsions bitumineuses et cut-backs.** HOULNICK (C.); *Via*, n° 4, p. 117-120. — Examen des différents aspects favorables du problème des émulsions bitumineuses et des aspects défavorables. E. 6364 (◇).

202-27. **Les autostrades allemandes.** MALCOR (R.); *Via*, n° 6, p. 33-37, 6 fig. — Exposé des caractéristiques des autostrades allemandes et observations sur ces caractéristiques. Réalisations progressives. Autostrades et agglomérations. Itinéraires internationaux. E. 6073 (◇).

203-27. **Routes à trois pistes** (Driestrookswegen); AANGENENDT; *Wegen*, Holl. (mars 1949), n° 3, p. 54-56, 4 fig. — Commentaires sur plusieurs rapports américains exposant les avantages et inconvénients des routes à 2, 3 ou 4 voies. L'accroissement du trafic par rapport aux routes ordinaires à deux pistes est de l'ordre de 75 %. La route à trois pistes est une solution provisoire qui permet d'attendre l'élargissement des routes existantes par construction de deux nouvelles voies. E. 5851 (◇).

204-27. **Reconstruction et modernisation des garages, ateliers de réparation, stations-service, magasins.** Soc. Ing. Automob. Éd. : L'Argus de l'Automobile, éd. SNEEP, Paris (1948), 1 vol., 94 p., nombre fig. — Différents types de garages. Gammes des services à assurer. Exemples de mauvaises dispositions. Organisation et matériel des garages, stations-services, ateliers de réparation et magasins. Choix entre sheds ou charpentes. Entretien des installations modernes. Éclairage. Garages privés. Regards sur l'avenir. E. 6075 (◇).

205-27. **Le nouveau garage pour le Conseil de la cité de Lewisham** (The new garage for the Lewisham Borough Council). Éd. : Cement Concr. Ass. Londres, 1 broch. (18,5 x 24,5 cm), 12 p., nombre fig. — Il n'a pas été nécessaire de procéder à une excavation, le bâtiment étant construit sur des dalles en béton armé placées directement sur le sol. L'ossature est constituée par des fermes en béton armé espacées de 4,60 m supportant les solives en béton armé et les linteaux. Mode de construction. Chauffage à l'eau chaude à basse pression. E. 6192 (◇).

Voies ferrées.

206-27. **Notions sur les installations ferroviaires à l'usage des urbanistes.** CANAUX (J.); *Centre Etudes Direct. Gén. Urban. Habit.* Éd. : Vincent, Fréal and Co, Paris (1948), C, n° 1, 1 brochure, 19 p., nombre fig. — Terminologie des voies ferrées, caractéristiques des voies principales, des voies de service, embranchements particuliers et voies de desserte des ports. Dans une deuxième partie : les gares à voyageurs, le quartier de la gare et la disposition des gares, puis les gares à marchandises, les gares de triage. La troisième partie est consacrée aux ouvrages d'art. E. 6231 (◇).

207-27. **La halle unique sur la S. N. C. F.** MARCHAND; *Rev. Gén. Chemins Fer* (août 1948). — Exposé de l'organisation des transports de détail à la S. N. C. F. — Conception des halles. Nouveaux genres de halles avec quais. Halles uniques sans quai. E. 5923, p. 746 (◇).

208-27. **La transformation des gares de Paris-Sud-Est.** DULAC, SANDOZ; *Rev. Gén. Chem. Fer* (déc. 1948), n° 12, p. 405-424, 31 fig. — Rappel historique du développement des gares de Paris-Lyon et Paris-Bercy depuis les premières réalisations, en 1849. Programme de travaux en cours d'exécution depuis les hostilités en rapport avec l'électrification de la ligne Paris-Lyon et avec la répartition entre les installations des régions Sud-Est et Sud-Ouest des services marchandises de régime accéléré et de régime ordinaire. Description des multiples phases de travail et de l'état d'avancement à la fin de 1948. E. 5799, p. 87 (◇).

209-27. **Les grandes surfaces couvertes de la S. N. C. F. (Halles-Ateliers).** PEIRANI (P.); *Travaux*, (avr. 1949), n° 174, p. 168-172, 16 fig. — Description des principales solutions adoptées pour la reconstruction des grands bâtiments de la S. N. C. F. à Angers-Saint-Laud, Villeneuve-Saint-Georges, Avignon, Pantin, Lyon. Détails de construction de l'atelier de Villeneuve-Saint-Georges, de la halle d'Avignon. E. 5852 (◇).

210-27. **Toitures autoportantes en A et V.** MESNAGER (J.); *Travaux*, (avr. 1949), n° 174, p. 173-179, 12 fig. — Principe et caractéristiques du système. Fonctionnement du système et mécanisme de l'autoportance. Réalisation pratique, détails. Détails des bâtiments d'Avignon et de Villeneuve-Saint-Georges. Résultats économiques. E. 5852 (◇).

Ports.

211-27. **Ports maritimes et navigation intérieure. Reconstruction et amélioration.** PELTIER (P.); *Travaux* (avr. 1949), n° 174, p. 149-167, 63 fig. — Exposé des résultats obtenus dans les services rendus par nos ports et voies navigables dans les dix dernières années. Remise en état des ports maritimes, améliorations. Remise en état et améliorations des phares et balises. Voies navigables : remise en état. Reconstitution des flottes de navigation intérieure et internationale. E. 5852 (◇).

Voies navigables.

212-27. **Le canal « Friant-Kern » est mis à section et revêtu à l'aide de grands « jumbos »** (Friant-Kern canal trimmed and lined by huge Jumbos). *Western Constr. News.*, U. S. A. (avr. 1948), t. 4, p. 81-86, 13 fig. — Canal de 250 km du projet de Central Valley. Débit : 140 m³/s. Largeur à la base 10,8 m, au sommet 24 m, profondeur 5,25 m. Avancement de 240 m par poste de huit heures au moyen de jumbos (chariots porte-outils). Description du matériel et des difficultés d'emploi. E. 5923, p. 729 (◇).

213-27. **La voie navigable projetée Allegheny-Genesee est liée aux systèmes hydrauliques vitaux pour l'intérieur du pays** (Proposed Allegheny-Genesee waterway links vital inland water systems). LONG (C. E.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 38-41, 7 fig. — Cette nouvelle voie navigable créera un canal direct, utilisable pour la navigation fluviale entre les canaux côtiers et le Mississippi au Sud et le système de canaux de l'État de New-York au nord, avec accès aux Grands Lacs et les côtes de l'Atlantique. Ce canal servira principalement au transport des charbons et produits pétroliers, des fers et aciers. Description des régions intéressées : États de New-York, New England et Canada oriental, Ohio et Pennsylvanie. Trafic fluvial prévu. E. 6166 (◇).

214-27. **Des abaques facilitent la solution des problèmes relatifs à l'écoulement en canaux ouverts** (Charts aid in solving problems of flow in open channels). FREEMAN (C.), *Civ.*

Engng., U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 49-51, 5 fig. — Les abaques présentés dans cet article permettent d'éviter l'emploi de la règle à calcul pour la solution des problèmes relatifs à la détermination des profils de la surface de l'eau dans les canaux ouverts. Application des abaques à la détermination de la charge due à la vitesse $\frac{v^2}{2g}$, et du coefficient de frottement k . E. 6166 (♦).

Navigation maritime.

215-27. **Erosion et protection des côtes.** MASON (M. A.); *Houille blanche* (janv.-févr. 1949), n° 1, p. 14-28, 9 fig. — Importance des problèmes et organisation de leurs études. Principes de base dans la connaissance des phénomènes côtiers. Solution des problèmes côtiers. Exposé des progrès futurs dans l'étude et dans l'aménagement des côtes. E. 5943 (♦).

216-27. **Construction d'une jetée sur le principe du montage en série** (Pier built on assembly-line principle). CHRISTIANI (H. O.); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (31 mars 1949), vol. 142, n° 13, p. 32-35, 6 fig. — Cette jetée, construite pour le port de Progreso, au Mexique, a 12 m de large et 1 800 m de long. Elle est composée d'arches d'une portée de 12 m, supportée chacune par deux piles cylindriques en béton, espacées de 5,20 m. Les poutres transversales sont en béton armé, leur armature est constituée par des barres d'acier inoxydable, ce qui évite la corrosion. Description de l'ouvrage et des méthodes de construction. E. 6100 (♦).

Aérodromes. Bases d'hydravions.

217-27. **Le nouveau hangar d'aviation de Filton (Grande-Bretagne).** *Oss. Métal.* (mai 1949), n° 5, p. 227-232, 10 fig. — Incidence des dimensions de l'avion Bristol-Brabazon sur la conception du hangar de Filton avec ses 3 halls destinés à l'assemblage, au montage et au garage de cet avion géant. Particularités de la charpente métallique (7 000 t d'acier), à 3 travées formée par des arcs en treillis à section en caisson, avec tirants : les montants en treillis du portique central et des portiques latéraux s'emboîtent l'un dans l'autre tout en assurant l'indépendance complète de chaque arc. Importance des semelles en béton (900 t). Système adopté pour le chauffage et la ventilation. E. 6355 (♦).

218-27. **Le Salon International de l'Aéronautique.** *Entrep. Usines Modernes* (7 mai 1949), n° 203, p. 3-6, 10 fig. — Énumération des matériels de construction de pistes exposés au Salon de l'Aéronautique, et des photographies des travaux exposées par les entreprises. E. 6307 (♦).

219-27. **Les hangars d'avions de l'aéroport de Genève-Cointrin.** KOLLBRUNNER, *Bull. Techn. Suisse Rom.* (9 avr. 1949), n° 8, p. 89-102, nombr. fig. — Importance de l'ensemble des travaux d'agrandissement de l'aéroport de Cointrin. L'implantation envisagée doit permettre une exploitation rationnelle. Les projets élaborés pour la construction d'un hangar destiné aux avions de ligne et d'une halle de montage. Détails sur les distributions et les équipements intérieurs, solution adoptée pour assurer la stabilité de ces ouvrages à cadre multiple en béton armé avec fermes à treillis simple (hypothèses de base pour les calculs; détails constructifs (en particulier des portes coulissantes), détails de construction du hangar à ossature métallique pour avions légers. E. 6064 (♦).

220-27. **Une toiture de béton en voûte mince permet d'obtenir une portée nette de 103,70 m pour un hangar de bombardiers.** (Thin concrete arch roof provides 340-Ft clear span for bomber hangar). PRENTISS (L. W.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 19, n° 2, p. 34-38, 8 fig. — Ce hangar est actuellement en cours de construction pour l'aviation américaine (travaux exécutés par le Génie Militaire). Description de l'ouvrage et procédés de construction : coffrage de la voûte, mise en place du béton par sections, emploi du béton à entraînement d'air, de coffrage, construction du plancher, chauffage, mise en place des portes, dispositifs de sécurité, etc. E. 6149 (♦).

221-27. **Construction d'une piste souple pour avions lourds à l'aérodrome de Toulouse-Blagnac.** MACLOU (L.). *Rev. Gén. Routes* (févr. 1949), n° 205, p. 19-23, 10 fig. — Description de la nouvelle piste souple de Blagnac ayant 2 500 m de longueur et 60 m de largeur. Caractéristiques et composition. Origine et mise en œuvre des matériaux au finisher Barber-Greene. Exécution des travaux. Contrôle des résultats obtenus. E. 6143 (♦).

222-27. **Orly dans le cadre de l'aéroport de Paris.** NETTER (L.), FILIPPI (P.); *Via*, n° 3, p. 79-91, 19 fig. — Exposé des

améliorations apportées à l'aérodrome d'Orly et des projets à l'étude. Pistes et aires. Assainissement. Balisage. Installations industrielles. Installations commerciales. Contrôle d'approches, sécurité aérienne. Liaison avec Paris. Entretien des installations et gestion du domaine. E. 6365 (♦).

OUVRAGES D'ART

Souterrains.

223-27. **Le tunnel routier et ferroviaire anglo-continentale.** BASDEVANT (G. A.); *Via*, n° 4, p. 36-42, 1 fig., 1 pl. h. t. — Données générales sur le tunnel sous la Manche. Données géologiques. Coupe géologique de Gris-Nez à Cape-Point. Problème de la ventilation du tunnel. Alimentation en air pur. E. 6364 (♦).

224-27. **Problèmes techniques du percement d'un tunnel routier sous le Mont Blanc.** CAQUOT (A.); *Via*, n° 6, p. 25-30, 5 fig. — Description du projet du tunnel sous le Mont Blanc. Profil géologique. Températures internes. Besoins de la circulation. Gabarit routier. Maintien de la qualité de l'atmosphère. Mode de ventilation. Augmentation du trafic. Procédés de perforation. E. 6073 (♦).

225-27. **L'avancement des travaux relatifs au tunnel de Brooklyn-Battery indique que l'achèvement de cet ouvrage est proche** (Progress of work on Brooklyn-Battery tunnel indicates early completion date). *Civ. Engng.*, U. S. A. (sept. 1948), vol. 18, n° 9, p. 22-24, 82, 11 fig. — L'achèvement de ce tunnel construit dans la ville de New-York est escompté pour le début de 1950. Ce tunnel, long de 2 800 m, est composé d'éléments annulaires en fonte de 9,45 m de diamètre recouverts d'un revêtement intérieur en béton et contenant la voie de communication d'une largeur de 6,70 m entre trottoirs. Les dispositifs de ventilation sont installés aux deux extrémités et au centre. Pour le percement du tunnel des précautions spéciales ont été nécessaires. E. 6166 (♦).

Ouvrages de consolidation.

226-27. **Des entretoises précontraintes maintiennent un mur de palplanches** (Prestressed bracing holds sheetpile wall). *Constr. Methods.* (févr. 1949), vol. 31, n° 2, p. 62-64, 6 fig. — Ce dispositif a été utilisé pour maintenir le terrain lors de l'excavation exécutée à San Francisco pour les fondations d'un bâtiment de 22 étages. Description du dispositif utilisé et résultats obtenus : moins de 3 mm de déplacement au cours des travaux. E. 6105 (♦).

Ponts.

227-27. **Reconstruction du pont sur la Loire, à Orléans.** JOUANNEAU, *Rev. Gén. Chemins de Fer* (juill. 1948). — Pont de chemin de fer détruit remplacé par un pont provisoire, puis reconstruit définitivement sur onze travées de 37,52 m à 47,21 m de portée. Détails sur l'exécution des travaux. E. 5923, p. 736 (♦).

228-27. **Reconstruction du viaduc de Saint-André-de-Cubzac.** GRANIER (M.); *Rev. Gén. Chemins de Fer* (août 1948). — Viaduc détruit en août 1944 et reconstruit du 24 juillet 1945 au 18 octobre 1946. Historique de l'ouvrage, destruction intervenue et méthodes utilisées pour redresser les palées et relever les tronçons. E. 5923, p. 736 (♦).

229-27. **Contribution au calcul des ponts curvilignes.** NICOLSKY (V. A.); *Oss. Métal.* (mai 1949), n° 5, p. 263-264, 2 fig. — Principes d'une méthode de calcul des ponts curvilignes sans liaison supérieure entre poutres-maitresses basée sur les hypothèses suivantes : les poutres-maitresses ne travaillent qu'à la flexion sans torsion, les efforts transmis par les pièces de pont peuvent être négligés. Application de cette théorie dans le cas d'une charge uniformément répartie appliquée suivant un arc de cercle concentrique aux courbes de poutres-maitresses. E. 6355 (♦).

230-27. **Quelques aspects de la reconstruction des ponts-routes.** RUMPLER (A.); *Via*, n° 6, p. 9-23, 18 fig. — Analyse de l'emploi des diverses ressources pour le rétablissement des ponts-routes après la Libération. Ponts Bailey. Ponts Callender-Hamilton. Ponts types L. Z. Passerelles d'Arromanches. Relèvement d'ouvrages métalliques. Relèvement d'ouvrages en béton armé. Utilisation de la précontrainte. E. 6073 (♦).

231-27. **Reconstruction du pont du Rhin à Dusseldorf** (Reconstruction of Rhine bridge at Dusseldorf). *Railw. Gaz.* (7 janv. 1949), p. 17, 18, 4 fig. — Description des travaux exécutés à Dusseldorf où deux ponts identiques à double voie et à quatre

travées de 107 m franchissaient le Rhin. Après destruction de la pile centrale en 1945, les quatre travées médianes tombèrent dans le fleuve, une seule d'entre elles appartenant au pont Sud étant réparable. Travaux de reconstruction du pont Nord avec utilisation d'une des travées de rive et de la travée médiane réparable du pont Sud. E. 5799, p. 80 (◊).

232-27. Démontage du pont de l'Orphelin (Pittsburgh's Orphan bridge comes down). *Constr. Methods*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 31, n° 2, p. 34-38, 9 fig. — Ce pont, construit en 1904, a été démonté en 1948. Les opérations de démontage au chalumeau ont eu lieu dans l'ordre inverse de celui des opérations de montage, à partir de la partie médiane, en progressant de chaque côté vers les culées. Durée des opérations : 5 mois. E. 6105 (◊).

233-27. Cause probable de la rupture du pont W. Va (Probe cause of W. Va bridge failure). *CARR* (J. R.); *Engng. News Rec.*, U. S. A. (21 avr. 1949), vol. 142, n° 16, p. 12, 1 fig. — La rupture du pont sur la Bluestone River s'est produite après la mise en place de dix panneaux de la travée centrale de 84,80 m. L'extrémité située sur la rivière était tombée à l'eau, l'extrémité de la rive est demeurée suspendue d'une façon précaire. Description de l'accident et de ses causes. Problème posé par le démontage des éléments endommagés. E. 6263 (◊).

Ponts-poutres.

234-27. Un exemple d'exécution rapide. Le pont de Marchienne-au-Pont. *HEBRANT* (F.), *Oss. Métall.* (mai 1949), n° 5, p. 221-226, 8 fig. — Caractéristiques du pont. Le programme prévoyait des délais très réduits pour la livraison échelonnée des 6 poutres maîtresses et l'achèvement définitif du montage. Commencée fin octobre 1948 cette charpente métallique de 520 t était terminée le 1^{er} mars 1949. E. 6355 (◊).

235-27. Reconstruction du pont du Veudre (1947-1948). *CHAVAGNAC* (R.), *LEHUEDE* (M.); *Travaux* (mai 1949), n° 175, p. 203-209, 15 fig. — Le pont du Veudre sur l'Allier a été reconstruit en béton armé sur trois travées de 62 et 72,50 m solidaires sur les appuis mais présentant dans la travée centrale une coupure de 18 m ménageant une travée indépendante. Description détaillée de l'ouvrage, de l'exécution des travaux, des épreuves et des déformations observées. E. 6240 (◊).

236-27. La reconstruction du pont des Arches sur la Meuse, à Liège. *HORMIDAS* (A.); *Bull. Centre Etudes Gén. Civ.* (C. E. R. E. S.), Belgique (1948), t. 3, p. 145-186, nombr. fig. — Historique du pont des Arches, à Liège, construit cinq fois. Le nouveau pont est du type à poutres multiples sous tablier. Poutres continues à hauteur variable à trois travées de 33,375 m et 66,750 m, en béton armé. Cintre métallique. Détails d'exécution. Épreuves. Esthétique de l'ouvrage. Décoration. E. 6132 (◊).

237-27. Reconstruction d'un passage inférieur à double étage sans interruption du trafic ferroviaire s'élevant à mille trains par jour (Double-deck underpass rebuilt without delaying traffic of thousand trains per day). *MOLENEUX* (C. B.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (févr. 1949), vol. 19, n° 2, p. 40-41, 7 fig. — Ce travail de reconstruction a été entrepris afin de permettre l'élargissement d'une route à grand trafic passant sous un pont à deux étages qui supporte des voies de chemin de fer. Le procédé consiste à achever entièrement les infrastructures avant de commencer à mettre en place les tabliers d'acier. Le trafic n'est interrompu que voie par voie, des supports étant disposés sous la voie adjacente à celle où s'effectuent les travaux. E. 6149 (◊).

238-27. Un pont en acier à trois travées, pour route à grand trafic, est déplacé de 32 km en aval (Three-span steel highway bridge moved 20 miles downstream). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (3 mars 1949), vol. 142, n° 9, p. 50-51, 7 fig. — Trois poutres triangulées, deux de 45,75 m et une de 51,25 m ont été soulevées de leurs piles, transportées vers l'aval sur des péniches et placées sur les nouvelles piles. Description du matériel employé pour le démontage, le transport et la mise en place sur les nouvelles piles. La poutre de 51,25 m a posé un problème particulier. Solution adoptée et résultats obtenus. E. 5805 (◊).

Ponts-arcs.

239-27. Le pont du contournement de Leuze. *HONDERMARCO* (H.); *Bull. Centre Etudes Gén. Civ.* (C. E. R. E. S.), Belgique (1948), t. 3, p. 9-67, nombr. fig. — Le pont construit pour la déviation de la route Lille-Bruxelles franchit une rivière et une voie ferrée. C'est un pont en deux arcs en béton armé à deux articulations et de 56 m d'ouverture. Détails sur le tracé

de la fiche moyenne, le calcul des contraintes, les appuis, les fondations, les cintres à appuis fixes, le béton et le bétonnage, le décentrement par vérins, les essais, les mesures de déformation et les ouvrages accessoires. E. 6132 (◊).

240-27. Détermination approchée de la section à la clé des voûtes de pont encastrées. *SWIDA*. *Bauplan. Bautechn.*, All. (janv. 1948), t. 2, p. 20, 1 fig. — Tableau établi pour 20 voûtes de 25 à 225 m de portée et donnant leurs caractéristiques de façon à permettre un dégrossissage des projets de voûte. E. 5923, p. 736 (◊).

241-27. La reconstruction d'un pont-route en béton armé sur le Lot, au port d'Agrès. *LASALLE* (J.); *Techn. Mod. Constr.* (avr. 1949), t. 4, n° 4, p. 107-111, 12 fig. — Délais d'exécution, description des épreuves et bilan des quantités de matériaux et du prix de l'ouvrage. E. 6315 (◊).

Ponts suspendus.

242-27. Calcul des ponts suspendus I (Beräkning av hängbroar. I.). *GRANHOLM* (H.); *Chalmers Tekniska Hogskolas*, Suède (1943), n° 22, 206 p., fig. (résumé en anglais, p. 205). — Présentation d'une méthode pratique et simple pour le calcul des ponts suspendus. Étant donné que les câbles constituent les éléments essentiels d'un pont suspendu, on a étudié d'abord le pont flexible. Le chapitre suivant est consacré à l'étude des raidisseurs. L'effet de ces éléments peut s'interpréter comme une correction des résultats obtenus par le calcul du même pont flexible. Considérations d'ordre économique relatives à ce type de construction. E. 6024 (◊).

243-27. Calcul des ponts suspendus II (Beräkning av hängbroar. II.). *GRANHOLM* (H.); *Chalmers Tekniska Hogskolas*, Suède (1945), n° 46, 111 p., nombr. fig. (résumé anglais, p. 107). — Application des mêmes méthodes d'analyse que dans la 1^{re} partie. Étude du pont suspendu flexible, en négligeant tout d'abord le pont suspendu rigide dont le comportement est examiné sous l'angle du premier et sous forme de correction apportée aux calculs précédents. Avantages du procédé qui permet de simplifier considérablement les calculs si complexes des ponts suspendus. Étude des mouvements du câble dans les deux sens : vertical et horizontal; moyen de fixation permettant d'augmenter la rigidité latérale. Description d'un nouveau système de pont suspendu avec supports en biais, en vue d'une construction plus économique, surtout pour les ponts à longue portée. Effet des oscillations dynamiques, notamment des oscillations verticales provoquées par le vent, dangereuses dans certains cas. Problème des forces latérales auxquelles est exposé un pont suspendu. Une méthode simple et facile à vérifier pour le calcul de ces éléments est proposée. E. 6025 (◊).

244-27. Recherches aérodynamiques relatives au pont sur la Severn (Het aerodynamisch onderzoek betreffende de Severnbrug). *Wegen*, Holl. (mars 1949), n° 3, p. 63, 1 fig. — Dans un hangar d'aviation désaffecté à Thurligh (Bedfordshire) il a été procédé à des essais en vue du calcul du plus grand pont suspendu d'Europe, celui de la Severn, aux environs de Bristol. Ces essais avaient pour but la construction d'un pont suspendu capable de résister aux efforts du vent et d'obtenir ce résultat avec un minimum de dépenses en matériaux. E. 5851 (◊).

Ponts à caractéristiques spéciales.

245-27. Surélévation d'une lourde travée de pont-bascule de 2,28 m en cinq jours de travail (Heavy bascule span raised 7 1/2 ft. in five working days). *Engng. News Rec.*, U. S. A. (21 avr. 1949), vol. 142, n° 16, p. 18-19, 4 fig. — Cette surélévation a été effectuée sur le pont-bascule de Terminal Island afin de corriger la dénivellation causée par un affaissement. Travaux préparatoires sur les abords du pont. L'opération a été exécutée à l'aide de 24 vérins hydrauliques spéciaux commandés par des pompes à pistons. Description des opérations successives. E. 6263 (◊).

246-27. Pont-route sur la rivière Havel dans le secteur britannique de Berlin (Road bridge over the river Havel in the British sector of Berlin); *Engineering*, G. B. (29 avr. 1949), vol. 167, n° 4344, p. 392-393, 4 fig. — Pour remplacer deux ponts endommagés sur la rivière Havel, le Génie britannique a construit d'abord un pont Bailey devenu rapidement insuffisant pour le trafic. En 1948, a été construit un autre pont semi-permanent (supportant deux voies de tramways) à 20 m au

Sud du pont détruit, d'une longueur entre culées de 295 m, à poutres triangulées en acier fondé sur pieux de 35 cm de diamètre et de 16 m de long. Exécution des travaux. E. 6215 (◆).

Construction des ponts.

247-27. **L'assemblage des éléments de ponts** (Brücken in Verbundbauweise). HAULENA (E.); V. D. I., All. (mai 1948), vol. 90, n° 5, p. 145-150, 25 fig. — Étude de la réparation d'un pont-route coupé au cours de la guerre. Constitution d'un tablier en béton reposant sur châssis latéraux en béton armé, 4 poutres centrales en acier avec 3 traverses pour répartition de charges. Problèmes d'équilibre et de résistance posés par le transport et la mise en place de l'élément ainsi constitué. Calculs et épures de statique graphique relatifs à ces travaux. E. 4460 (◆).

INCIDENCES EXTÉRIEURES

MODIFICATIONS

248-27. **Méthodes graphiques pour les diagrammes des réseaux d'infiltration** (Graphical methods for flow-net dia-

grams); *Engr.*, G. B. (14 mai 1948), n° 4816, p. 464-465; suite et fin (21 mai 1948), p. 488-90, 24 fig. — Méthode de tracé approximatif de Forchheimer suivie d'une bibliographie. E. 5923, p. 723 (◆).

RECONSTRUCTION

249-27. **Reconstruction du département de la Somme et en particulier d'Amiens et Abbeville. Œuvres Maîtres Œuvre**, n° 13, 63 p., nombr. fig. — Numéro consacré à la reconstruction du département de la Somme et en particulier aux réalisations qui ont été effectuées à Amiens et Abbeville. Un remarquable exposé de P. ROLLIN montre comment ces réalisations ont pu être effectuées rapidement grâce aux efforts conjugués de la Fédération des Industries du Bâtiment, du Ministère de la Reconstruction, des Associations de sinistrés ainsi que des équipes d'architectes. Des articles abondamment illustrés de schémas, plans et reproductions photographiques montrent en détail l'aspect des ensembles monumentaux, des immeubles d'Etat, des logements pour petits dommages, des îlots sinistrés, enfin les données des problèmes d'urbanisme qu'il a été nécessaire de résoudre, sont précisés et les solutions qui ont été admises sont commentées avec clarté. E. 6357 (◆).

II. — BIBLIOGRAPHIE

Les analyses d'ouvrages mentionnés dans la Bibliographie figurent au chapitre 1, sous le numéro indiqué en tête de chaque ouvrage.

OUVRAGES REÇUS

1-27. **Cours de statique graphique et résistance des matériaux (Appliquées aux constructions métalliques, à l'usage des calqueurs et dessinateurs industriels)**. PERRIN (F.-H.); Éd. Eyrolles, 61, boul. St-Germain, Paris (5^e) (1949), 1 vol. (17 × 25 cm), 342 p., nombr. fig. — Cet ouvrage donne des notions pratiques et des solutions graphiques simples directement applicables aux études qu'ont à effectuer les projeteurs des bureaux d'études. Après un exposé de la théorie du calcul graphique et des polygones funiculaires il en fait l'application à la détermination des réactions d'appuis et des centres de gravité, au tracé de Crémone, aux épures des moments fléchissants et des efforts tranchants des poutres à appuis simples soumises aux différents cas de charge. Il expose la méthode de Ritter qui permet de déterminer les efforts dans les bancs de systèmes triangulés, et des méthodes pratiques pour obtenir les moments d'inertie et les rayons de giration sans faire appel au calcul intégral. Il donne une étude succincte de la traction, de la compression simple, du flambement, de la flexion simple dont il fait comprendre le sens physique et la fait suivre de la théorie des pièces fléchies : poutres consoles, poutres sur 2 appuis simples, poutres encastrees aux 2 extrémités, poutres encastrees à une extrémité et librement appuyées à l'autre, poutres continues. Il termine par une étude sommaire de la flexion oblique, de la flexion déviée de la torsion et des charges dues au vent et à la neige. E. 6584.

204-27. **Reconstruction et modernisation des garages : ateliers de réparation, stations service, magasins. Soc. Ing. Automob.**; Éd. : L'Argus de l'Automobile, édition S. N. E. E. P., 1, pl. Beffeldieu, Paris (2^e) (1948), 1 vol. (21 × 26, 5 cm), 94 p., nombr. fig. — Différents types de garages. Gammes des services à assurer. Exemples de mauvaises dispositions. Organisation et matériel des garages, stations services, ateliers de réparation et magasins. Choix entre sheds ou charpentes. Entretien des installations modernes. Éclairage. Garages privés. Regards sur l'avenir. E. 6075.

48-27. **Bulletin du Centre d'Études de Recherches et d'Essais scientifiques des Constructions du Génie Civil et d'hydraulique fluviale**. Belgique (1948), t. 3 (16 × 24 cm), 503 p., nombr. fig., nombr. pl. h. t. — Le tome 3 du Bulletin du C. E. R. E. S. résume d'abord l'activité du C. E. R. E. S. et des laboratoires, depuis la parution du tome précédent, puis

publie un hommage à la mémoire de René Feret, on y trouve ensuite : a) une communication de M. HOUDERMARCO sur le pont du contournement de Leuze construit en béton armé et comportant deux arcs à deux articulations de 56 m d'ouverture; b) une étude de M. MALLET sur les réalisations de béton précontraint en Afrique du Nord; c) l'exposé par M. GAUTHIER d'un cas compliqué de fuites sous l'évacuateur des crues du barrage des Beni-Bahdel et le procédé d'étanchement employé; d) la description par M. HORMIDAS de la reconstruction du pont des Arches sur la Meuse à Liège en poutres continues en béton armé du type poutres sous chaussée; e) une étude de M. DANTINNE sur la mesure des vibrations du sol et leur effet sur les constructions; f) une importante étude de M. FOULON sur les allègements réalisables dans les profils métalliques fléchis; g) une étude de MM. SPONCK et TRIQUET sur l'hydrographie de la côte atlantique au droit de l'estuaire du Congo; h) les recherches de M. LAMOEN sur les modèles réduits des barrages déversoirs et l'effet d'échelle. E. 6132.

53-27. **Manuel des ingénieurs en bois de construction** (Timber engineers' handbook). HANSEN (H. J.); Éd. : John Wiley et Sons, Inc., 440-4th Ave., New-York 16, N. Y., U. S. A. (1948), 1 vol. (14,5 × 22 cm.), 882 p., nombr. fig. — Cet ouvrage présente une énumération des différents facteurs qui influent sur la résistance des bois, ainsi que les contraintes de travail indique les dimensions et les propriétés pour les bois les plus courants, les poids et les charges admises. Poutres simples, poutres continues, poutres composées, piliers. Étude de l'effet des efforts combinés, des assemblages et des différents types de poutres triangulées. Un chapitre est consacré aux bois lamellaires collés, au contreplaqué, un autre aux systèmes de planchers. Charpentes et ossatures en bois. Poteaux et piliers. Protection des bois en entretien. En appendice : tableau des charges uniformément réparties (comprenant 496 pages). E. 5951.

92-27. **Problèmes structuraux élémentaires relatifs à l'acier et au bois de construction** (Elementary structural problems in steel and timber). YOUNG (C. R.), MORRISON (C. F.); Éd. : J. Wiley et Sons, Inc., 440-4th Ave., New-York 16, U. S. A., 3^e éd. (1949), 1 vol. (15,5 × 23,5 cm), 329 p., nombr. fig. — La première partie de l'ouvrage est consacrée aux charpentes métalliques. Elle présente l'étude des pièces tendues : assemblages, détails des pièces tendues diverses, formule fondamentale. Étude des pièces comprimées et détails de ces pièces, des poutres (formule fondamentale, diverses catégories de poutres). Un chapitre

spécial est consacré aux poutres-caissons, un autre aux poutres à âme pleine, un troisième aux poutres triangulées. Application aux grues et à leurs supports. Charges mobiles sur divers types de poutres. La deuxième partie est relative aux pièces en bois. Le bois de construction et les assemblages de pièces en bois. Pièces tendues; pièces comprimées. Pièces soumises à la flexion. Châssis de toiture. En appendice : problèmes et exercices avec leurs solutions. E. 6324.

166-27. **La technique des réseaux de distribution d'eau** (Water supply engineering). BABBITT (H. E.), DOLAND (J. J.); Éd. : Mc Graw-Hill, Publ. Cny, Ltd, Aldwych House, Londres, W. C. 2, 4^e éd. (1949), 1 vol. (16,5 × 23,5 cm), 637 p., nombr. fig. — Historique et législation des distributions d'eau. Théorie : problèmes hydrauliques, formules et graphiques. Besoins croissants en eau, lutte contre l'incendie, variations saisonnières. Vente. Eaux de surface; sources; eaux souterraines. Emplacement, construction et entretien des puits. Précipitations, évaporation, infiltration, écoulement; sécheresse; inondations. Digués : en terre, en maçonnerie et autres. Efforts sur les digues, déversoirs, vannes. Prises d'eau, aqueducs, pipelines, tunnels. Pompes à vapeur : alternatives, électriques, centrifuges, pompes de puisage. Machines et pompes diverses. Matériaux pour canalisations; études des canalisations; tuyaux, vannes, soupapes, prises d'eau contre l'incendie, appareils de mesure. Corrosion du métal. Réservoirs. Étude, construction et entretien des réseaux de distribution. Qualité des eaux distribuées; constituants et impuretés chimiques microbiologiques, etc. Eaux nocives. Analyses : leur interprétation. Épuration par dépôt simple; coagulation; filtration sur sables; adoucissement des eaux; méthodes chimiques; zéolites. Désinfection : chlore, ammoniacque; ultraviolets. Méthodes diverses d'épuration. Annexes : esquisse d'un projet de distribution; énoncés de problèmes sur les distributions d'eau. E. 6109.

OUVRAGES SIGNALÉS

2-27. **Étude des contraintes et des déformations élastiques planes basée sur les propriétés des lignes isostatiques.**

III. — NORMALISATION

TRAVAUX EN COURS

Unités et Symboles.

La Sous-Commission de travail de la Commission générale des unités et symboles a entrepris la révision de la norme X 02-001 intitulée : Symboles, Principes, Unités, Grandeurs.

Cette révision a amené la Commission à augmenter considérablement le volume de la norme, ce qui l'a conduite à la scinder, en un certain nombre de normes françaises et de fascicules de documentation dont la liste provisoire est indiquée ci-après avec leur état d'avancement.

A l'étude.

- Pr X 02-003. Principes de l'écriture des nombres et des symboles d'unités.
- Pr X 02-004. Tableau des symboles d'unités de mesures.
- Pr X 02-005. Tableau des symboles d'unités monétaires.
- Pr X 02-106. Symboles de la résistance des matériaux.

En préparation d'homologation.

- Pr X 02-104. Symboles de la thermodynamique générale.
- Pr X 02-105. Symboles de la mécanique des fluides.

HONDERMARCO (H.). Extrait : *Ann. Trav. Publ. Belgique* (juin août et oct. 1943), Univ. Liège; Éd. Goemaere, 21, rue de la Limite, Bruxelles (1943), 1 vol. (16 × 24,5 cm), 99 p., nombr. fig., 7 pl. h. t. E. 6019.

76-27. **Habitations dans le bourg de Clydebank. Maisons en blocs de béton en laitier écume** (Housing in the burgh of Clydebank. Houses of foamed slag concrete blocks); Éd. : Cement Concr. Ass., 52, Grosvenor Gardens, Londres S. W. 1 (févr. 1949), 1 broch. (18,5 × 25 cm), 12 p., nombr. fig. E. 6212.

90-27. **La construction métallique et l'acier.** Éd. : O. T. U. A., 25, rue du Général-Foy, Paris (8^e), 1 broch. (21 × 27 cm), 18 p., nombr. fig. E. 6308.

102-27. **Les maisons françaises construites avec des éléments ou des ensembles en acier fabriqués d'avance en atelier.** Éd. : O. T. U. A., 25, rue du Général-Foy, Paris (8^e) (1948), 1 broch. (21 × 27 cm). E. 6309.

126-27. **Construction des cadrans solaires ou gnomonique.** NOEL (P.); Éd. P. NOEL, 19, av. Charles-Peguy, à Sceaux (Seine) (déc. 1943), 30 p., 23 fig., 1 pl. h. t. E. 6248.

127-27. **L'éclairage naturel des maisons et appartements. Tableaux donnant le coefficient d'éclairage en lumière naturelle** (The natural lighting of houses and flats with graded daylight factor tables). SMITH (T.), BROWN (E. D.); *Nat. Phys. Lab. Depart. Sci. Industr. Res.*, G. B. (avr. 1944), 21 p., 2 fig. E. 6017.

172-27. **Usine à gaz de Ponders End** (Ponders End gasworks); Éd. Cement Concr. Assoc., 52, Grosvenor Gardens, Londres, S. W. 1, 12 p., 14 fig. E. 6206.

205-27. **Le nouveau garage pour le Conseil de la Cité de Lewisham** (The new garage for the Lewisham Borough Council); Éd. : Cement Concr. Ass., 52, Grosvenor Gardens, Londres, S. W. 1, 1 broch. (18,5 × 24,5 cm), 12 p., nombr. fig. E. 6192.

206-27. **Notions sur les installations ferroviaires à l'usage des urbanistes.** CANAUX (J.); *Centre Etudes Direct. Gén. Urban. Habit.*; Éd. : Vincent, Fréal et Cie, 1, rue des Beaux-Arts, Paris (1948), C, n° 1, 1 broch. (21,5 × 27,5 cm), 19 p., nombr. fig. E. 6231.

Sous presse.

FD X N° 02-002. Unités de mesure. Définitions.

Parus.

- FD X 02-010. Sous-multiples décimaux du degré (unité d'angle).
- FD X 02-050. Principales unités de mesures américaines et britanniques.
- NF X 02-100. Avant-propos relatif à la normalisation des symboles.
- NF X 02-101. Symboles algébriques.
- NF X 02-102. Symboles géométriques et vectoriels.
- NF X 02-103. Symboles de la mécanique rationnelle.

La Commission, dans sa dernière réunion, du mois de mars, a terminé l'examen des propositions qui lui ont été soumises pour l'établissement de la norme X 02-003 intitulée : « Principes de l'écriture des normes et des symboles d'unités ». Elle examinera, dans sa prochaine séance, le texte provisoire qui a été établi en tenant compte des nombreuses observations présentées.

Projets de normes soumis à l'enquête publique.

Bâtiment et Génie Civil.

- EP N° 591.
- Pr P 26-101. Quincaillerie, Serrures, Terminologie.

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII^e

Septembre 1949

N° 91

Nouvelle série.

TECHNIQUE GÉNÉRALE DE LA CONSTRUCTION, N° 6

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

VISITE DE CHANTIER DU 27 MAI 1949

LE NOUVEAU BATIMENT DE L'O.E.C.E. A LA MUETTE



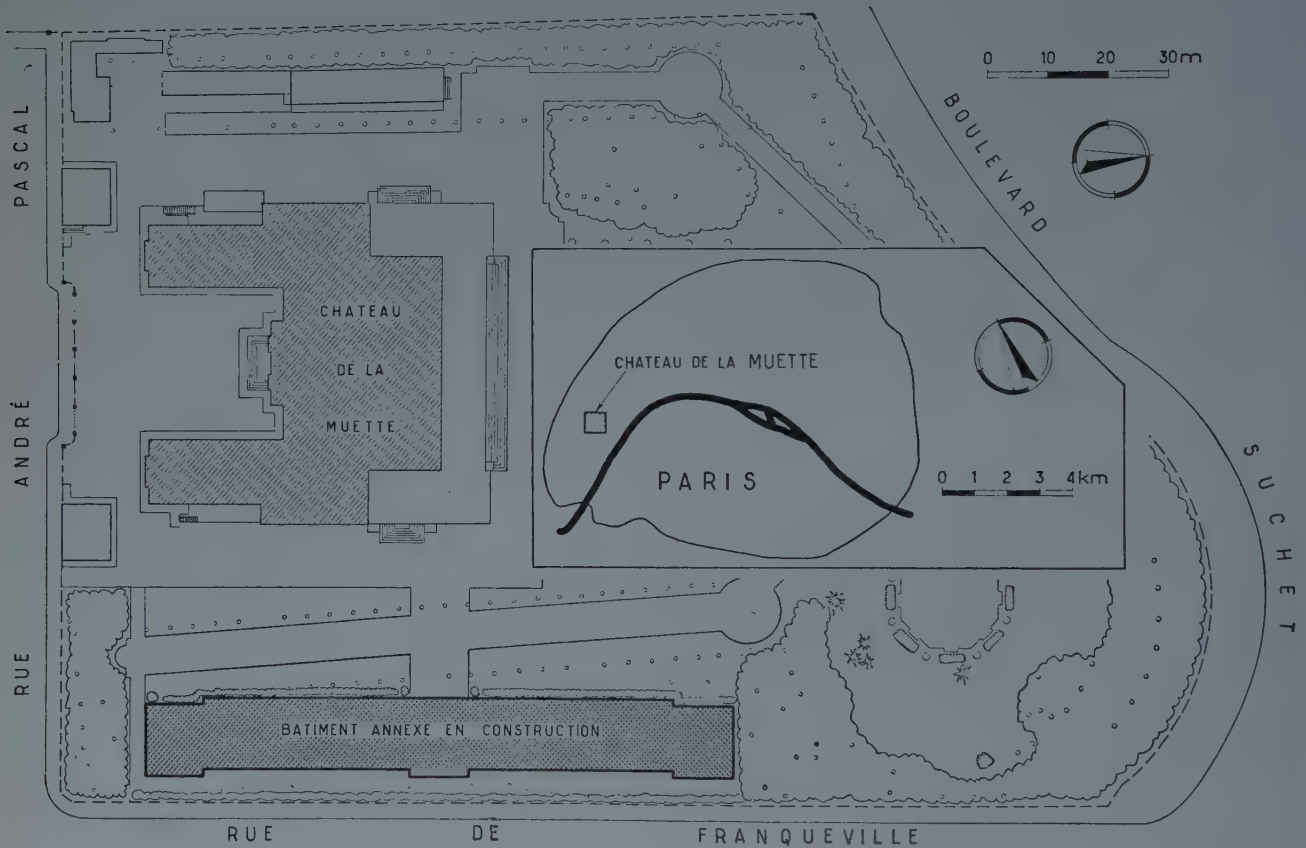
Photo Institut Technique.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

LA CONSTRUCTION ACCÉLÉRÉE D'UN BATIMENT EN PIERRE DE TAILLE A LA MUETTE

L'obligeance de MM. de CARMOY, Directeur Administratif de l'O. E. C. E., Jean DEMARET, Architecte en Chef des Bâtiments Civils et des Palais Nationaux et des Entrepreneurs a permis, à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics de faire visiter à ses adhérents le chantier de construction accélérée, pour le compte de l'O. E. C. E., d'un bâtiment en pierre de taille à la Muette.

Cette visite a eu lieu le 27 mai 1949; après des exposés de MM. de CARMOY, DEMARET et Pierre DUMONT, qui indiquèrent successivement les données du programme, le parti adopté et les moyens et procédés mis en œuvre, les visiteurs ont eu toute facilité pour parcourir l'immeuble en construction.



RÉSUMÉ

L'Organisation Européenne de Coopération Économique (O. E. C. E.) a établi son siège au château de la Muette à Paris. Les bâtiments existants sont insuffisants pour y loger tous les bureaux et locaux nécessaires, aussi la construction dans un court délai d'un bâtiment annexe a-t-elle été décidée. Ce bâtiment annexe en pierre de taille, d'une surface habitable de 5 870 m², et comportant deux sous-sols, rez-de-chaussée et trois étages, doit être livré, peintures finies, huit mois après l'ouverture du chantier.

L'architecte est M. Jean DEMARET, Architecte en Chef des Bâtiments Civils et Palais Nationaux.

Le chantier a été visité le 27 mai 1949 par les adhérents de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

Les principales caractéristiques du bâtiment en construction sont indiquées dans la présente publication.

SUMMARY

The Organization for European Economic Cooperation (O. E. C. E.), has set up its headquarters in the Chateau de la Muette in Paris. The existing buildings are not large enough to comprise all the necessary offices and equipment, so it has been decided to start soon building an annexe. The annexe would be in ashlar, have a habitable surface area of 5,870 sq. m., comprising two basements, ground floor and three storeys, and would be complete, including painting, eight months after preparing the site.

The architect is M. Jean DEMARET, Chief Architect of Civil Buildings and National Palaces.

The site was visited on the 27th May 1949 by the members of the INSTITUTE OF BUILDING AND PUBLIC WORKS.

The chief features of the building are described in this paper.

Le domaine de la Muette a été acquis par l'Organisation Européenne de Coopération Économique (O. E. C. E.), pour y installer son siège, mais il est bientôt apparu qu'en raison de la multiplication des tâches confiées à cet organisme international, le château de la Muette serait insuffisant pour permettre l'aménagement de tous les bureaux et locaux nécessaires; il fallait donc construire un bâtiment annexe, à proximité immédiate du bâtiment principal.

Élever un nouveau bâtiment sur ce site classé n'allait d'ailleurs pas sans sujétions imposées par les Services d'architecture de la Ville de Paris, quant à l'implantation du bâtiment, sa hauteur maximum, son aspect architectural, la conservation des arbres. D'autre part, l'O. E. C. E., liée à l'exécution du Plan Marshall, doit avoir une durée limitée, et se plier aux délais habituels de construction, c'était se résoudre à n'utiliser le nouveau bâtiment que quelques mois dans sa destination initiale.

Telles étaient quelques-unes des difficultés du programme soumis à l'architecte. Ces difficultés étaient telles, en particulier celles résultant de la sévérité des délais d'exécution et des pénalisations y afférentes, que la plupart des entreprises consultées se refusèrent. Par ailleurs, il était essentiel que la conception aussi bien que les détails d'exécution fissent honneur à la technique française; la mécanisation et l'organisation du chantier étaient également compliquées par l'exiguïté des lieux et la présence d'arbres très proches tout autour de la construction.

Actuellement, sont désignées pour participer aux travaux les entreprises ci-après :

DUMONT et BESSON pour le terrassement, le béton armé, la maçonnerie, la charpente;

Charles CERTOUX pour la pierre de taille;

SCHWARTZ-HAUTMONT pour la serrurerie et la menuiserie métallique;

BERNARD pour la menuiserie de bois;

VERON et MESSENGER pour la plomberie et la couverture;

SAINRAPT et BRICE pour les canalisations;

L'INDUSTRIELLE DE CHAUFFAGE pour le chauffage;

OTIS-PIFRE pour les ascenseurs;

VERGER-DELPORTE pour les installations électriques;

SEURALITE pour l'étanchéité.

Matériaux de choix et rapidité d'exécution sont les dominantes de ce chantier pour lequel un planning minutieux a été établi. L'échelonnement correct des livraisons de matériaux pose chaque jour au dispatcher des problèmes qu'il eût été impossible de résoudre sans la facilité retrouvée pour les transports.

L'immeuble, de 99 m x 11,20 m et de 21,20 m de hauteur totale, comportera deux sous-sols, rez-de-chaussée et trois étages, soit une surface habitable de 5 870 m².

Au 27 mai, le gros œuvre était en avance d'une dizaine de jours sur le planning; le plancher haut du premier étage était en voie d'achèvement, tandis que les murs extérieurs du deuxième étage et les poteaux qui supporteront le plancher suivant étaient en cours de montage.

L'implantation du bâtiment a été commencée le 25 janvier 1949 et l'achèvement des travaux est prévu pour le 8 octobre 1949.

Les terrassements (5 350 m³) ont donné lieu à quelques difficultés imprévues en raison de la présence de bancs de pierre demi-ferme au niveau du deuxième sous-sol;



Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du deuxième sous-sol.

Cuvette des ascenseurs de la partie centrale.



Photo Prevel.

Préparation de la longrine sous le troisième étage.

Aile gauche.



Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du premier sous-sol. Aile droite.



Photo Prevel.

Piliers dans la hauteur du rez-de-chaussée.

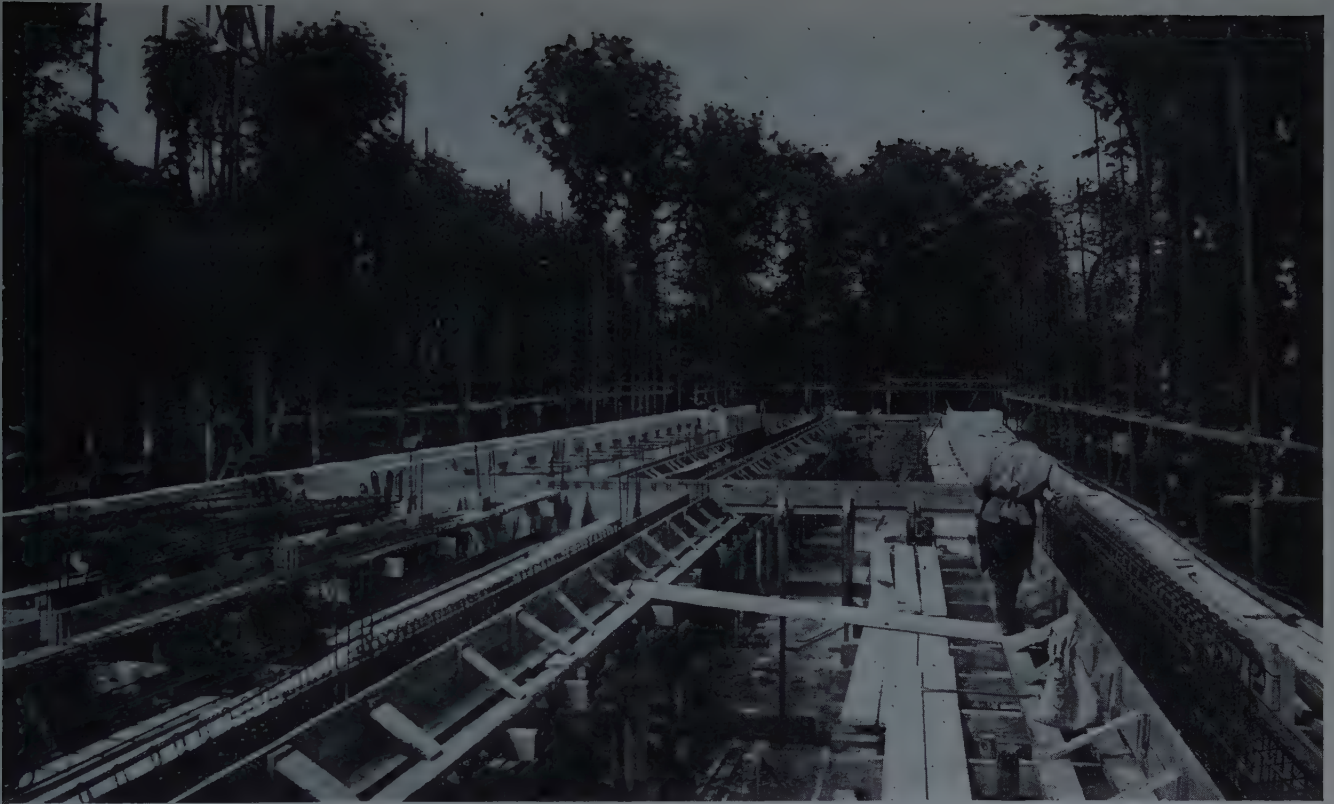


Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du rez-de-chaussée. Aile droite.



Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du premier étage. Aile droite.

le recours à l'explosif s'imposait, mais la proximité des immeubles de la rue de Franqueville et des canalisations qui les desservent interdisait l'emploi d'un explosif brisant et c'est la poudre noire qui a été employée malgré ses aléas, et d'ailleurs sans incident. Les terrassements ont été exécutés avec une pelle mécanique puissante de 800 l.

Afin de réduire la main-d'œuvre, tout en assurant une exécution rapide, les entreprises DUMONT et BESSON, et CERTOUX ont apporté un soin tout particulier au choix du matériel de levage, de façon à respecter les arbres tout en desservant chaque point du chantier par le crochet d'une grue; quatre grues *Kayser* de 14 à 18 m de flèches ont été retenues et elles ont été montées dès l'ouverture du chantier, de manière à éviter toute manutention manuelle et tout autre moyen mécanique, dès l'exécution des murs de cave.

Ces murs en béton de gravillon ont été coulés entre coffrages métalliques; pour rendre les sous-sols commodément utilisables par les services de l'O. E. C. E., le premier sous-sol prend jour directement sur une cour à l'anglaise et les murs des deux sous-sols sont doublés par une paroi en briques ménageant un vide d'air.

Les murs porteurs sont en pierre : pierre dure de Massangis, de 44 et 42 cm d'épaisseur, qui arrive taillée sur le chantier, pour les soubassements; pierre tendre de Noyant en élévation, de 40 à 35 cm d'épaisseur et dont la taille est terminée sur chantier.

Pour activer le coffrage et réduire la main-d'œuvre, les piliers-supports en béton armé des deux refends longitudinaux sont coffrés à l'aide de tubes de fibrociment à parement lisse en prenant des précautions pour éviter la fissuration de ces tubes sous l'effet de la pression du béton frais; il suffira ensuite de quelques raccords avant peinture des piliers.

Les planchers du type *Cerco* sont prévus pour des surcharges de 350 à 650 kg/m²; ils sont constitués par des poutrelles en béton armé à coffrage céramique, préfabriquées sur chantier et reliées par des hourdis céramiques recouverts d'une dalle en béton armé coulée sur place.



Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du premier sous-sol et banchage des murs.

Aile gauche.

Le chantier est partagé en deux moitiés : alternativement, on monte sur l'une le plancher d'un étage, et sur l'autre moitié la pierre de taille; chacune de ces opérations dure six jours pour un demi-étage.

Le concours laissait le choix pour la charpente entre le bois, le fer et le béton; le bureau d'études de l'entreprise DUMONT et BESSON a mis au point une charpente en bois constituée de fermes américaines légères espacées de 2 m, en planches clouées et collées; cette charpente est entièrement préfabriquée; elle doit être posée en deux semaines.

La couverture sera en cuivre et façonnée en atelier; les feuilles sont dès maintenant coupées.

Parmi les aménagements prévus ou en cours d'exécution, il convient de noter :

Les croisées métalliques ouvrant à l'extérieur, avec impostes à soufflet et jalousies *Kirch*.

Les gaines pour passage des canalisations le long de chaque trumeau; ces gaines sont constituées par un coffre ouvrant en menuiserie et staff disposé à chaque étage à l'aplomb des trémies réservées dans les planchers haut et bas; les canalisations verticales seront ainsi non apparentes mais visitables; les coffres sont entièrement préfabriqués. Il n'y aura pas de canalisations horizontales; en particulier, chaque radiateur sera desservi par une colonne montante et une colonne descendante.

Le plafond préfabriqué du troisième étage sous charpente sera du type *Samiex* en plâtre expansé, qui permet une isolation thermique parfaite.

Les séparations intérieures seront réalisées par des cloisons métalliques démontables permettant des modifications faciles dans la distribution des locaux, tout en assurant un aspect satisfaisant.

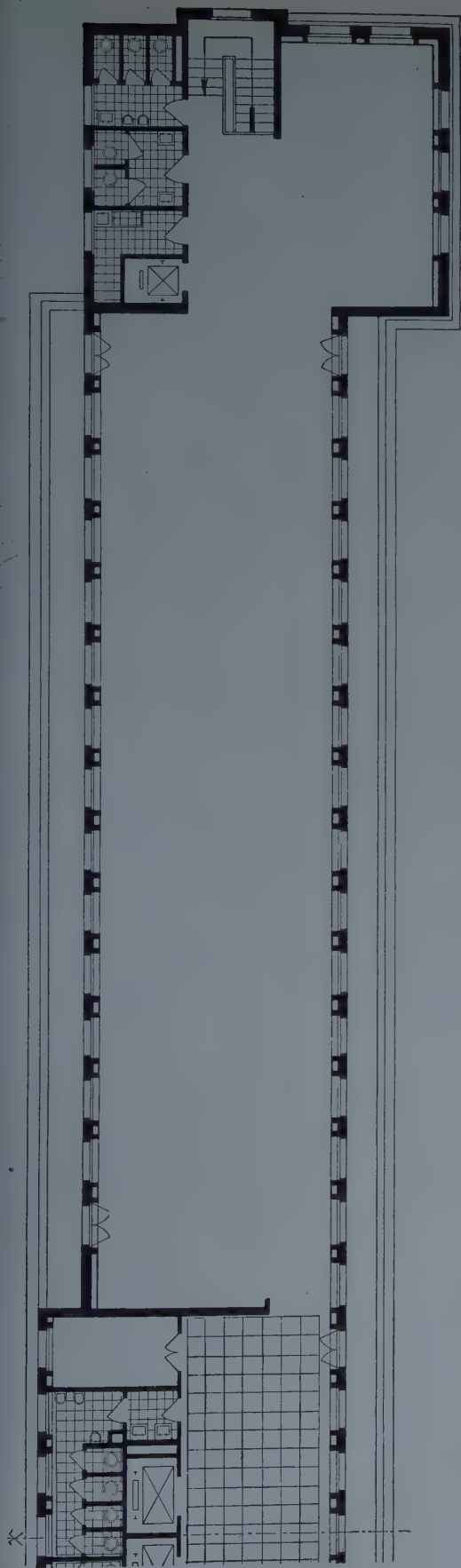
Telles sont les données techniques principales relatives à cet immeuble qui doit être livré, peintures finies, dans un délai de huit mois; quant à son aspect architectural, les élévations présentées, le choix du matériau et le soin apporté dans l'exécution sont une assurance que le nouveau bâtiment administratif ne déparera pas ce coin privilégié de Paris.



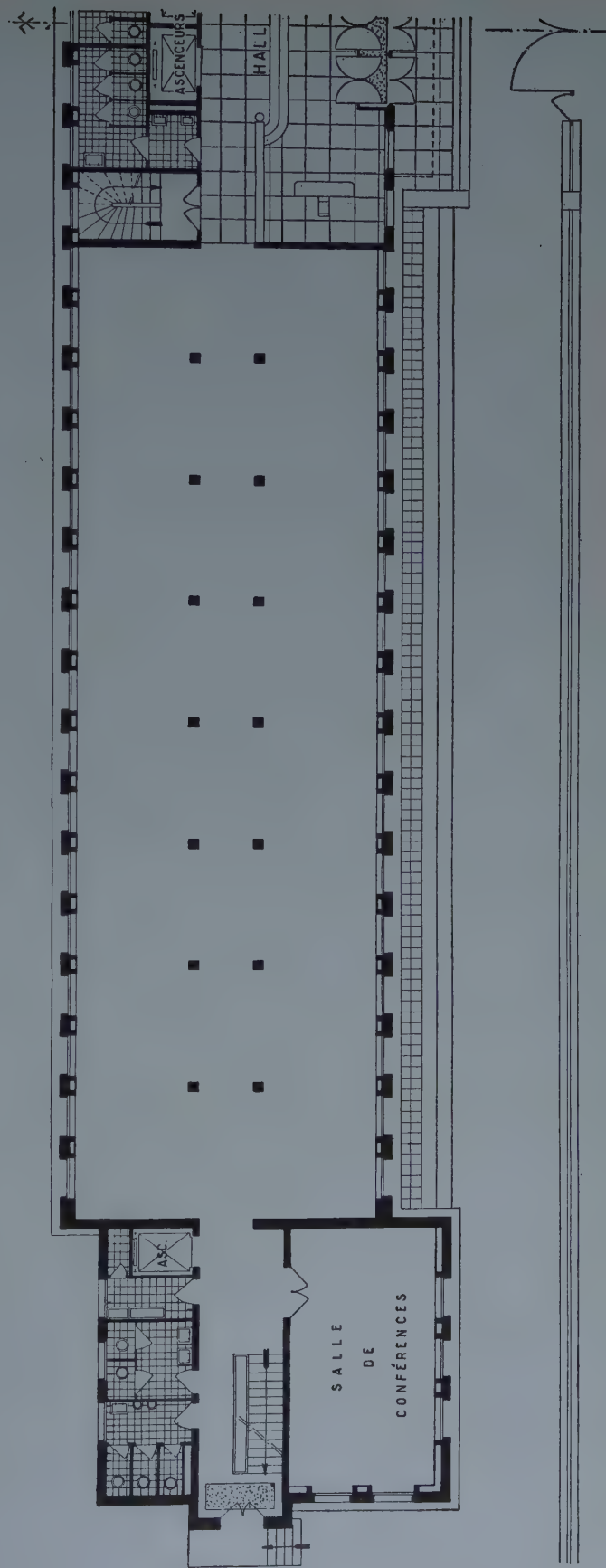
Photo Prevel.

Préparation du plancher haut du deuxième étage.

Aile droite.



Demi-plan du troisième étage.



Demi-plan du rez-de-chaussée.

THÉORIES ET MÉTHODES DE CALCUL, N° 5

MATIÈRE, CONSTRUCTION ET RÉSISTANCE

Par **M. R. L'HERMITE,**

Directeur des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

RÉSUMÉ

Cette étude est un tableau des principales déformations observées dans les matériaux soumis à des efforts variés, principalement à des cisaillements. Cet examen des déformations conduit d'abord à distinguer les matières structurales (solides et pseudo-solides) à relaxation partielle, des matières non structurales (liquides et pseudo-liquides) à relaxation totale; les premières accusent une rupture, les secondes pas. C'est l'absence ou la présence d'une structure accusée par des réactions au cours de l'application d'un cycle mécanique qui caractérise l'un ou l'autre de ces deux états.

Parmi les corps élastiques, les uns feront apparaître au cours d'un cycle mécanique, un hystérésis des déformations, par rapport aux tensions (hystéro-élastiques), les autres seront purement élastiques, voire élastiques linéaires (hookéens). L'état hystéro-élastique est caractérisé par la présence de frottements internes visqueux ou statiques qui correspondent à une dépense d'énergie transformable en chaleur.

Dans le cas des liquides, cette chaleur a pour effet, soit de modifier la viscosité, soit de la laisser fixe. De toute façon, c'est un état instable au point de vue de la viscosité; et, l'on a thixotropie quand le mouvement augmente la fluidité, antithixotropie dans le cas contraire. Des propriétés de ce genre, se remarquent dans les matières structurales à propos de la plasticité et de la rupture. Pratiquement, le phénomène de thixotropie est fréquent dans les peintures et les mastics et le corps instable ainsi obtenu est dit faux-corps.

Le vieillissement est un autre phénomène qui peut venir se superposer à ceux-ci ou les masquer; c'est un phénomène physico-chimique.

L'auteur a essayé ici de distinguer ces divers effets sans perdre de vue que les frontières entre elles sont souvent fragiles. Il a également introduit d'autres contraintes que le pur cisaillement, ce qui l'a conduit à poser la notion de rigidité et exposer la réalisation d'un rigidimètre à béton frais utilisé actuellement aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

SUMMARY

This report presents a picture of the principal deformations observed in materials subjected to various forces but particularly to shear. As a first step in analyzing the deformations a distinction is drawn between structural materials (solid and pseudo-solid) with partial relaxation and non-structural materials (liquid and pseudo-liquid) with total relaxation; the former are characterized by rupture, the latter not. The difference between these two types of materials is characterized by their reactions to a stress cycle.

When a stress cycle is applied to some elastic bodies a hysteresis occurs in the stress strain curve, while in others it will be purely elastic and often linear (obeying Hooke's law). The « hystero-elastic » state is characterized by the presence of internal viscous or static friction which corresponds to an expenditure of energy which can be transformed into heat.

In the case of liquids such heat has the effect of either modifying viscosity or keeping it fixed. In any case from the point of view of viscosity it is an unstable condition, thixotropy occurring when movement increases fluidity, antithixotropy in the opposite case. Properties of this kind in structural materials are interesting from the point of view of plasticity and rupture. In practice, thixotropy occurs frequently in paints and mastics and the unstable material thus obtained is called a false body.

Ageing is another phenomenon which may be superimposed on the above phenomena or which may mask them; it is a physico-chemical phenomenon.

The author has attempted to distinguish between these different effects without forgetting that the boundaries between them are often tenuous. He has also introduced other stresses than pure shear and this has led to a statement of the conception of rigidity and a description of a rigidimeter for fresh concrete now in use at the Building and Civil Engineering Laboratories in France.

INTRODUCTION

La résistance des matériaux, telle qu'elle est utilisée par les ingénieurs, est une science de calcul. Elle a pour but de définir les efforts et les déformations en tous les points d'un corps ou d'un ensemble de corps qui forment un ouvrage, étant donné l'intensité et la position des effets extérieurs appliqués et la qualité intrinsèque des matériaux considérés. Comme toute science mathématique, elle doit permettre d'aller du simple au complexe ou de ramener le cas complexe à un certain nombre de données simples et facilement accessibles à l'expérience directe.

Pour rendre utilisable la théorie mathématique de la construction, il ne faut pas que le calcul d'un élément nécessite un travail dont le prix de revient soit une fraction trop importante du prix de l'élément lui-même. Une théorie simple ne peut faire intervenir qu'un nombre limité de variables, d'où nécessité de simplifier les hypothèses de base. Il faut encore que cette théorie soit suffisamment générale, il est donc nécessaire de représenter les propriétés de tous les matériaux par un groupe de fonctions identiques où intervient un nombre restreint de constantes caractéristiques de la matière; ces constantes étant déterminées au préalable et expérimentalement grâce à des essais faciles à reproduire. Si les conditions extérieures peuvent être nettement distinguées, il faut diviser le corps de doctrines en autant de branches que l'on pourra étudier séparément l'action des charges permanentes ou lentement appliquées, l'action des vibrations, l'action des chocs, l'action de la température, stabilité et flambage, etc.

Si le comportement de la matière se prête à une telle division, on pourra aussi étudier séparément l'élasticité, la plasticité, la rupture, etc...

Mais cette division est forcément artificielle et de nombreuses interprétations des doctrines obligent l'ingénieur à prêter l'attention à leurs recouvrements et aux cas limites : flambage plastique, plasticité à chaud, action de l'humidité sur la déformation, etc...

La résistance des matériaux, telle que nous venons de la définir est une science analytique destinée à rechercher « ce qui se passe dans la matière ». On peut être amené à l'envisager d'un second point de vue, celui du constructeur et en faire une science de synthèse dont le but doit être : *de proportionner rationnellement les constructions et toutes leurs parties aux forces qui les sollicitent en considérant les points de vue de la sécurité, de l'économie et de l'aspect.*

On voit que la science mathématique ne se suffit plus

à elle-même, car il s'agit de choisir entre toutes les formes possibles, et elles varient à l'infini, celle qui répondra le mieux aux conditions imposées.

C'est là qu'intervient l'intuition et le sens mécanique de l'individu. On ne peut plus parler de science mais de *l'art de construire* et le constructeur n'est plus seulement un homme de science et un technicien, mais un artiste. L'ingénieur cesse d'être une machine à calculer; l'ouvrage qui sort de ses mains porte l'empreinte de sa personnalité. D'ailleurs, on sait que bien des grands constructeurs ont été de piètres mathématiciens pour lesquels le sens de la forme suppléait au manque de formules.

De toute façon les bases d'une science de calcul doivent se trouver dans l'expérience. C'est ce que firent les précurseurs : Galilée, Hooke, Mariotte, Coulomb, qui ouvrirent la voie à de nombreuses recherches techniques qui furent la base de *la théorie mathématique de l'élasticité* et de *la résistance des matériaux classique*.

Mais l'esprit des hommes est tel qu'à partir du jour où ils ont inventé les mathématiques, ils ont voulu en faire un usage immodéré. Ils ont plus goûté l'outil pour lui-même que pour son usage. Pris d'une fringale de calculs, les techniciens ont, depuis le premier quart du siècle dernier, échafaudé des équations, bâti des solutions auxquelles ils ont voulu donner une valeur de vérité intangible. Il est arrivé ce qui devait arriver et, un jour, on a commencé à s'apercevoir que les théories étaient loin de la réalité. Il a fallu que l'insuffisance des résultats et la grandeur des divergences entre les chiffres et les faits leur crèvent les yeux pour qu'on se décide à interroger de nouveau la nature et à redécouvrir ce que Coulomb avait écrit en 1776.

L'ère des laboratoires s'est ouverte et des milliers de chercheurs se penchent aujourd'hui sur la matière pour examiner son comportement qu'ils tentent d'interpréter. Ils alignent les résultats dans l'espoir de découvrir des lois qui sont des moyens simples d'interpolation, d'extrapolation et de raisonnement destinés à être mis entre les mains des constructeurs. Il ne faut pas croire pour autant que les mathématiciens aient désarmé. On est souvent surpris de voir dans la littérature technique se poursuivre des discussions d'un caractère scholastique. Mais la nécessité fait loi et le technicien est attiré invinciblement vers les réalités. C'est donc avec l'esprit du physicien plus qu'avec celui du mathématicien que nous devons poursuivre nos efforts et c'est ce que nous ferons dans cet exposé.

I. — LA MÉCANIQUE DE LA MATIÈRE LA RHÉOLOGIE

Considérons un volume géométrique de forme quelconque et constitué par une matière déterminée. Appliquons sur une petite portion de sa surface une force. Cette portion de surface se déplace; on dit qu'il y a déformation; en d'autres termes, cherchons à déplacer un petit élément de surface sur une trajectoire; une réaction s'oppose à ce déplacement. Toute la mécanique de la matière réside dans les relations qui existent entre la déformation et les forces qu'il est nécessaire d'appliquer pour la produire.

Mais, il existe de nombreux moyens de produire une déformation et l'on a pris l'habitude de considérer les plus simples et les plus faciles à interpréter pour en déduire les qualités fondamentales. Il y a d'abord les *déformations uniformes* où toutes les parties du volume sont soumises à une même sollicitation, ce sont l'allongement ou le raccourcissement uniforme qui correspondent à la traction ou à la compression : si nous considérons au sein de la masse un petit élément cubique, il est transformé en un parallélépipède. C'est ensuite le cisaillement ou glissement par lequel certains côtés du cube sont transformés en parallélogrammes.

On peut encore cumuler des allongements uniformes dans trois directions perpendiculaires et l'on obtient une sollicitation triple. La plus simple correspond à une sollicitation égale dans les trois directions; c'est la pression hydrostatique.

Dans l'ordre de complexité croissante, on trouve : le cisaillement concentrique où l'on cherche à faire tourner une couronne tubulaire en fixant sa surface intérieure, puis la torsion d'un barreau cylindrique ou tubulaire : dans ces deux cas, on produit des cisaillements qui vont en croissant du centre à la périphérie. La flexion pure donne des allongements qui, nuls sur la fibre moyenne, vont en croissant linéairement lorsque l'on s'en éloigne. Nous sommes ici en présence de déformations linéaires dans lesquelles intervient un paramètre supplémentaire que l'on appelle le *gradient de déformation*, variation de la déformation par unité de distance.

On peut enfin trouver autant de genres de sollicitations qu'il est possible d'en imaginer, mais l'interprétation de la loi de déformation se complique très rapidement. Citons la pénétration qui consiste à enfoncer un poinçon de forme sphérique, conique ou pyramidale et qui donne ce que l'on a convenu d'appeler la dureté. Citons encore la résilience qui consiste à rompre en flexion par choc une éprouvette entaillée.

Le mode de sollicitation qui donne les résultats les plus imagés, quant à la comparaison des matières entre elles, est le cisaillement pur. C'est malheureusement l'un des essais les plus difficiles à effectuer en toute

rigueur et nous reviendrons plus loin sur les modes opératoires envisagés. Théoriquement, un cube élémentaire découpé dans la masse est transformé en un prisme dont la base est un parallélogramme équilatéral. Si le côté du cube est égal à l'unité, cette déformation D a lieu sous l'action de deux forces égales et de signes contraires appliquées tangentiellement aux deux faces opposées (fig. 1).

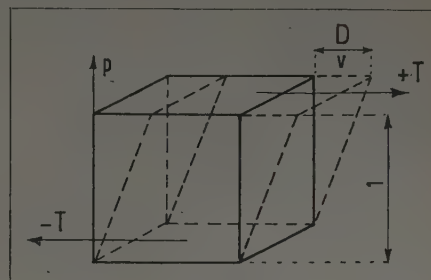


Fig. 1.

Ces forces sont les cisaillements et la déformation D est le glissement. Pour faire image, nous pouvons considérer le cube comme formé d'un entassement de feuilles de papier carrées. Si T est proportionnel à la surface d'une feuille, D est proportionnel à la hauteur du cube.

Supposons maintenant que nous ayons rempli d'un liquide, tel que de l'huile épaisse, une boîte cubique parfaitement articulée sur ses arêtes et que nous déformions la boîte de la manière indiquée. Cette déformation peut être provoquée lentement d'abord puis plus rapidement dans une seconde opération, puis, encore plus rapidement. Nous nous apercevons que l'effort T qu'il faut appliquer est d'autant plus élevé que la vitesse imposée est plus grande, comme s'il était de plus en plus difficile de faire glisser les tranches horizontales les unes sur les autres. Ce phénomène est la viscosité. Il nous montre que le temps intervient dans l'opération par l'intermédiaire de la vitesse. Nous définirons donc le cisaillement comme la force tangentielle destinée, dans un phénomène homogène, à faire glisser l'un contre l'autre et suivant la même direction, tous les feuillets parallèles et infiniment minces.

Ceci étant dit, il est possible de réaliser l'expérience et de porter, pour chaque valeur de D, la valeur de T correspondante sur deux axes rectangulaires. Nous obtenons la courbe de déformation qui dépend d'un troisième paramètre qui est la vitesse $v = \frac{dD}{dt}$.

Faisons donc un essai de cisaillement sur un corps quelconque et, pour une valeur de D , annulons la vitesse. Ceci revient à dire que, nous laissons le corps libre sous déformation constante. Nous constatons généralement que la réaction baisse. On dit qu'il y a relaxation (fig. 2). La courbe AB qui indique la chute de réaction en fonction du temps est la courbe de relaxation.

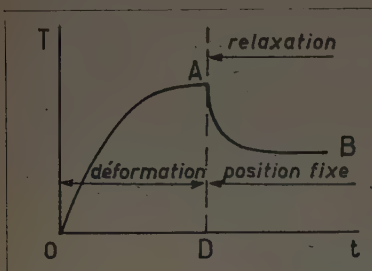


Fig. 2.

C'est ici que nous pouvons faire la distinction entre les *matières structurales* qui englobent les solides et les pseudo-solides, et les *matières non structurales* qui sont les liquides et les pseudo-liquides.

Les matières liquides possèdent une relaxation totale; la réaction tend plus ou moins rapidement vers zéro suivant la viscosité. Pour les solides ou pseudo-solides, au contraire, la réaction ne s'annule pas. Il existe une structure qui oppose son squelette élastique au relâchement complet des contraintes. C'est pourquoi nous avons donné à ce genre de corps l'appellation de matière structurale (fig. 3).

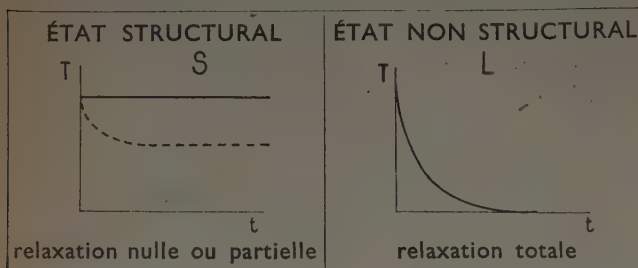


Fig. 3.

Considérons maintenant une courbe de déformation $T(D)$ (fig. 4), et supposons que, pour une déformation D' quelconque, nous puissions immédiatement opérer une déformation à vitesse égale et en sens contraire. Cette déformation de sens inverse correspond à un déchargement et nous mesurons la déformation résiduelle d lorsque T devient nul.

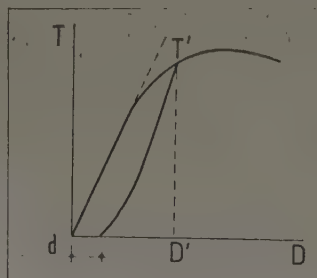


Fig. 4.

Cette manière d'opérer nous permet encore de faire une distinction entre les deux états S et L en considérant la courbe d'allongement et la déformation résiduelle. En effet, l'état structural présente une rupture qui correspond au passage par un maximum de la courbe de déformation ⁽¹⁾ tandis que l'état liquide

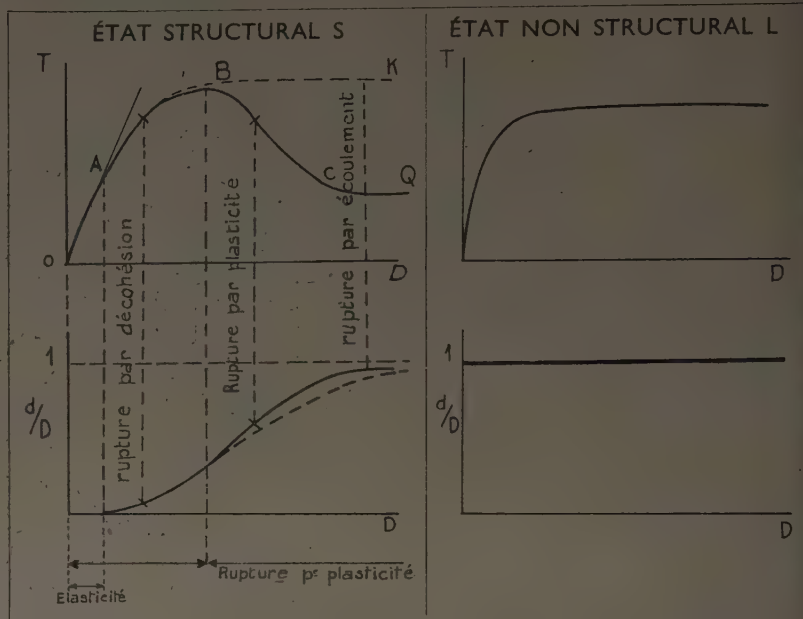


Fig. 5.

présente une courbe de déformation ascendante tendant vers une réaction constante, d/D étant égal à l'unité (fig. 5).

Sur le diagramme de la figure 5 S, on distingue une première phase OA rectiligne qui correspond à l'élasticité proportionnelle sur laquelle nous reviendrons plus loin, puis une phase ascendante AB; si la fracture de la matière a lieu dans cette phase, la plasticité a une faible influence et nous avons une rupture par décohésion. Si elle a lieu dans la partie descendante, la déformation non élastique a une influence prépondérante tandis que le squelette a commencé à relâcher sa réaction et nous avons affaire à une rupture par plasticité. Si nous pouvons poursuivre l'allongement plus loin, nous voyons que d/D tend vers l'unité et les branches du diagramme deviennent parallèles à OD; il y a écoulement continu sous charge constante; c'est, en réalité, une rupture. Le solide ou pseudo-solide prend les caractéristiques d'un liquide puisque $\frac{dd}{dD} = 1$, mais, *seulement dans une ou plusieurs régions limitées de son volume.*

Il y a glissement d'une couche par rapport à l'autre, mais il n'y a pas de déformation générale homogène. En d'autres termes, la liquéfaction d'une matière structurale sous les efforts mécaniques est limitée aux environs immédiats de certaines surfaces appelées surfaces de glissement.

⁽¹⁾ On peut même constater dans certains cas plusieurs ruptures lorsqu'il existe des limites successives d'écoulement comme dans l'acier doux.

Il y a donc une distinction fondamentale entre les deux états, qui fait qu'il est impossible de parler de la viscosité d'une déformation plastique suivant la définition habituellement admise pour l'état liquide.

Considérons maintenant l'état structural et examinons l'application d'un cycle de déformations $\pm \Delta$ imposées à vitesse constante entre deux cisaillements D_A et D_B (fig. 6).

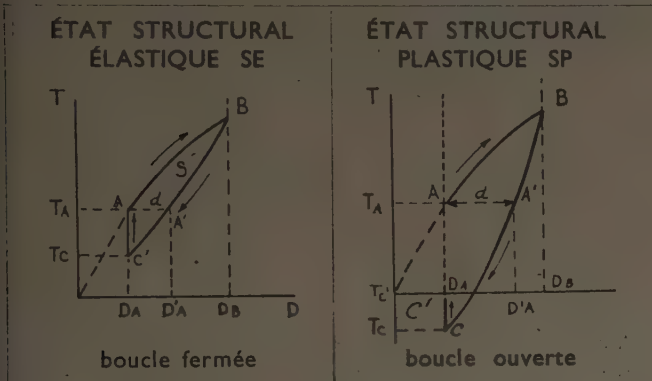


Fig. 6.

Au retour, nous observons une réaction $T_c < T_A$. Si nous laissons alors la matière sous déformation D_A constante, la réaction T_c tend à rejoindre T_A . Si elle le rejoint, nous obtenons une boucle fermée ABCA dont l'aire S représente l'énergie dépensée qui caractérise l'hystérésis. Le corps a retrouvé son état initial; il est élastique. Sur l'ordonnée de T_A , la largeur de la boucle est d , déformation résiduelle visqueuse puisque si l'on avait arrêté la déformation de retour en A' , d aurait disparu avec le temps.

Lorsque T_c ne rejoint pas T_A mais tend vers T_c , la boucle reste ouverte; $T_A - T_c$ est la réaction résiduelle. Si l'on avait arrêté la déformation de retour en A' , la déformation résiduelle d n'aurait pas pu s'annuler. Le corps ne peut retrouver son état initial; il est plastique.

Nous avons donc, dans l'état structural, distingué deux états caractérisés par la présence ou l'absence d'une transformation de la structure au cours d'un cycle mécanique.

Revenons à l'état élastique; dans celui-ci, nous pouvons à nouveau faire une distinction suivant la présence ou l'absence d'hystérésis pour une déformation imposée à une vitesse non nulle, ou suivant un cycle sinusoïdal, qui est pratiquement plus aisé à produire (fig. 7).

Le premier est dit purement élastique et le second hystéro-élastique.

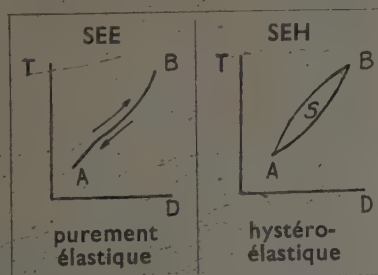


Fig. 7.

Les corps élastiques ne se déforment pas sous charge constante et possèdent un hystérésis nul. Ils ne s'échauffent pas sous l'action des déformations répétées et ne possèdent aucune déformation résiduelle même subpermanente. Ce sont évidemment des matériaux théoriques qui n'existent pratiquement pas dans la nature.

Un cas encore plus idéal est celui où la courbe de déformation est une ligne droite. C'est l'état purement élastique linéaire ou hookéen (fig. 8).

On considère en première approximation que c'est le cas des petites déformations des solides de construction chargés ou déformés lentement. Cette simplification est acceptable lorsque d est un infiniment petit du deuxième ordre par rapport à D , et ceci est généralement le cas des métaux et des corps pierreux sous les taux de travail usuels. C'est pourquoi toute la théorie de l'élasticité et de la résistance des matériaux est basée sur cette hypothèse. Cependant, il existe des corps pour lesquels on ne peut admettre une telle simplification et de nombreux auteurs ont tenté d'établir une théorie de l'élasticité non linéaire. Ce sont Hencky et Mooney pour les corps caoutchoutiques, Stenberg qui suppose une courbe de déformation du second degré, Swainger, etc.

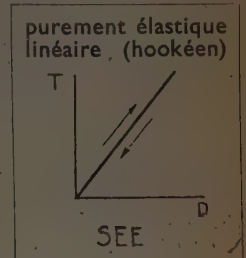


Fig. 8.

L'état hystéro-élastique, état naturel de la plupart des corps élastiques, est donc caractérisé par la présence de frottements internes qui correspondent à une dépense d'énergie transformable en chaleur. Ces frottements sont de deux espèces que l'on peut distinguer en produisant des cycles de déformation à vitesses différentes. On constate, en effet, que si S varie avec la vitesse, il ne tend pas vers zéro pour une vitesse nulle mais vers une valeur fixe S_0 (fig. 9).

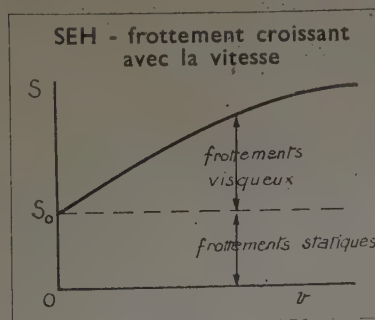


Fig. 9.

Nous sommes donc en présence de deux sortes de frottements: des frottements variables avec la vitesse et des frottements indépendants de la vitesse. Les premiers sont dits frottements visqueux, par analogie avec les liquides. Ils peuvent être dus effectivement à une phase liquide ou pseudo-liquide, mais encore, être d'origine thermique, ou, en d'autres termes, dus à l'agitation moléculaire. L'origine des frottements non visqueux ou frottements statiques est encore très discutée; elle se trouve probablement dans les tensions internes du solide. Toute production artificielle de telles tensions a pour effet d'augmenter les frottements statiques.

Les frottements visqueux sont responsables de la relaxation généralement très faible que l'on observe dans les corps hystéro-élastiques (fig. 10), du léger écoulement sous charge constante qui disparaît plus ou moins vite après déchargement et qui a pris le nom de réactivité visqueuse.

redresse, le coefficient d'élasticité apparent augmente et tend vers une valeur maximum dépendant de la viscosité (fig. 11).

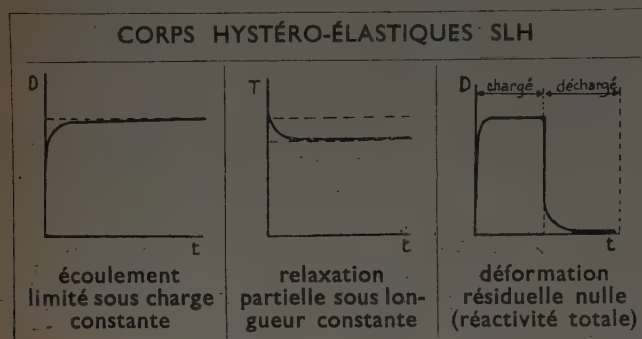


Fig. 10.

L'étude de la variation de l'hystérésis S en fonction du nombre de répétitions de cycles est intéressante à connaître; car, pour les corps élastiques, l'hystérésis a tendance à décroître pour tendre vers une valeur constante. Cette variation paraît être due, pour une grande part, à la partie non visqueuse du frottement et ceci semble montrer que la répétition des efforts a pour effet d'accommoder le solide par atténuation des tensions internes. Par contre, si le frottement interne tend à s'accroître, cela montre la présence de déformations plastiques, le développement de tensions internes, et, est un signe de propagation de discontinuités conduisant à la rupture par fatigue.

Enfin, si après un certain nombre de cycles on laisse le corps au repos pendant une certaine durée, on peut être conduit à un nouvel état d'équilibre interne qui se traduira par une modification des frottements lors d'une nouvelle série de sollicitations. Cette mesure permet d'accuser les modifications de structures, les recristallisations ou relaxations dues à un traitement dynamique préalable.

Parlons maintenant du module d'élasticité. Si, pour une tension T ou une déformation D déterminées, nous appliquons une augmentation infiniment petite de l'une de ces deux variables, dD par exemple, il en résulte une augmentation de l'autre : dT . Le rapport $G = \frac{dT}{dD}$ est le module d'élasticité au cisaillement ou encore, pour une déformation homogène conforme à la figure 1 en milieu hookéen : $G = \frac{T}{D}$. On conçoit que, les frottements internes intervenant, le module d'élasticité dépende de la vitesse de déformation et que le module d'élasticité intrinsèque doive être mesuré pour une vitesse très lente qui fait disparaître les effets de la viscosité. C'est la pente de la droite AB qui joint les sommets de la boucle d'hystérésis (fig. 7 SEH). Lorsque la vitesse de déformation augmente, la boucle se

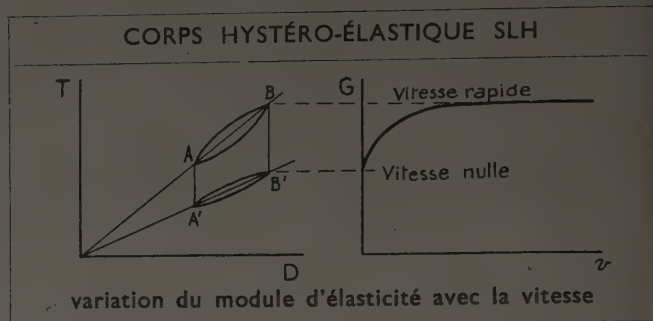


Fig. 11.

La viscosité a encore pour effet de conduire à une augmentation du coefficient d'élasticité apparent lorsque l'on fait croître le nombre de répétitions et qui tend vers une valeur limite. Après arrêt de la sollicitation cyclique, le module reprend lentement sa valeur initiale. Ceci s'explique fort bien à l'aide de calculs mathématiques basés sur la notion d'hérédité ou de retard à la déformation, qui est une forme de la viscosité.

Notons que les solides hookéens ont un module indépendant de la vitesse et un module indépendant de la grandeur de la charge. N'oublions cependant pas que ce sont des corps théoriques. Pratiquement, on trouve que G est une fonction de D qui dépend de la constitution de la matière. On observe, pour les métaux par exemple, une faible diminution; pour les corps pierreux une diminution sensible et, pour les corps caoutchoutiques, une augmentation suivie éventuellement d'une diminution; il en est de même pour de nombreux composés organiques à longues chaînes moléculaires. En fait, il n'y a pas encore de loi générale qui permette une classification raisonnée et commode.

Après avoir examiné les corps élastiques qui sont des matières structurales par excellence, passons, avant d'examiner les états intermédiaires, aux liquides qui se trouvent au pôle opposé dans notre classification. Ils sont caractérisés, ainsi que nous l'avons vu, par une relaxation totale. L'application d'un cycle $\pm \Delta$ donne une boucle symétrique par rapport à l'axe D puisque l'inversion de la vitesse de déformation donne une inversion de la réaction correspondante (fig. 12) et cette boucle reste entièrement ouverte, tandis que $d/D = 1$.

Si les deux faces du cube de la figure 1 sont mues d'un mouvement de vitesse v , l'accroissement de cette vitesse

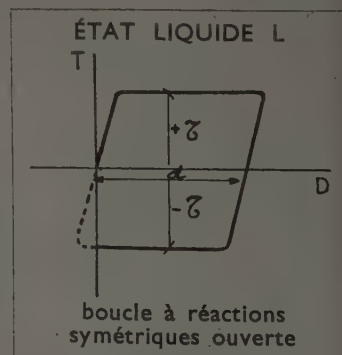


Fig. 12.

d'une quantité $d\eta$ donnera une augmentation de réaction dT telle que : $\eta = \frac{dT}{dD}$ où η est le coefficient de viscosité.

Cette relation est analogue à celle que nous avons trouvée pour les corps élastiques : $G = \frac{dD}{dT}$. G étant le coefficient d'élasticité (au glissement) et le déplacement D étant remplacé par la vitesse. Ceci nous conduit à substituer au diagramme $T(D)$ le diagramme :

$$\mathcal{E}(v) = \mathcal{E} \left(\frac{dD}{dt} \right)$$

dans le cas des liquides.

La boucle d'hystérésis d'un liquide possède l'allure de la figure 12; pour une déformation cyclique, elle se stabilise et possède une aire proportionnelle au produit de la déformation par la réaction : $S = 2\mathcal{E}D$.

Comme \mathcal{E} est une fonction croissante de v , l'énergie dépensée augmente avec la vitesse.

Un liquide soumis à un cisaillement \mathcal{E} possède un écoulement continu et, après suppression de l'effort, la déformation reste permanente. Il y a réactivité nulle (fig. 13).

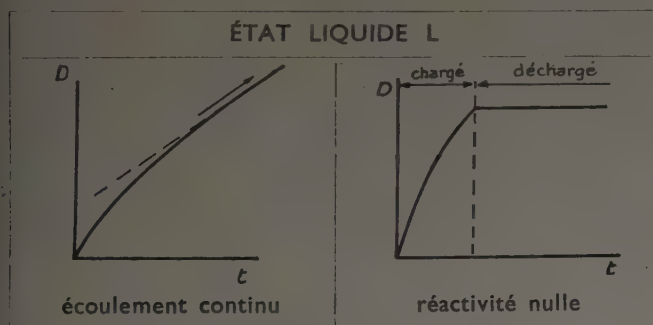


Fig. 13.

L'influence de la vitesse de déformation est, bien entendu, déterminante quant à la valeur des réactions. Ceci a lieu suivant une fonction croissante qui montre que le coefficient de viscosité n'est pas forcément constant avec la vitesse. La grandeur de l'hystérésis varie, naturellement, dans le même sens (fig. 14).

On peut alors distinguer plusieurs sortes de liquides :

— Les liquides newtonniens qui sont pour l'état non structural ce que les solides hookéens sont pour l'état structural. Le coefficient de viscosité est indépendant de la vitesse, la courbe $\mathcal{E}(v)$ est une droite avec $\eta = \frac{\mathcal{E}}{v}$.

— Les liquides binghamiens ont également une viscosité constante et une courbe $\mathcal{E}(v)$ en forme de droite, mais celle-ci ne part pas de l'origine. Il existe pour $v = 0$ un frottement non nul. Nous retrouvons une analogie avec les solides visco-élastiques. On parle alors d'une viscosité structurale due à des frottements statiques qui doivent être rompus avant que n'agisse

la déformation. Il y a quelque chose d'analogue aux frottements d'un milieu pulvérulent. Nous sommes ici

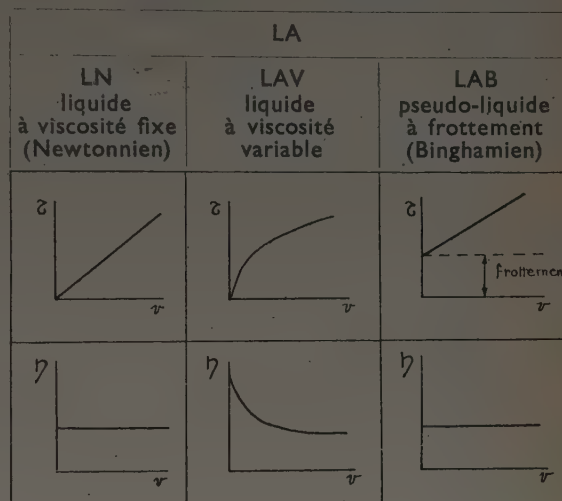


Fig. 14.

à la limite entre l'état liquide et l'état structural et il n'est pas encore certain qu'une telle viscosité structurale puisse exister à l'état liquide. Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question à propos des milieux pulvérulents et des suspensions.

— Nous trouvons enfin les liquides à viscosité variable (fig. 14). Dans ceux-ci les frottements internes, qu'ils soient dus à la viscosité ou aux frottements non visqueux provoquent au cours des cycles successifs une dépense d'énergie représentée par la surface de la boucle (fig. 12). Cette énergie, transformée en chaleur, a pour le moins l'effet d'échauffer le liquide et de transformer ses propriétés. Il peut en résulter, de toutes façons, une modification de la viscosité et de l'hystérésis lui-même, mais une modification variable suivant les possibilités de dégagement de chaleur. On doit donc raisonner en supposant un régime isotherme. Dans ce cas, le liquide newtonien théorique a une viscosité fixe. Pour un liquide quelconque, plusieurs cas peuvent se présenter : la fixité de la viscosité, l'augmentation de la viscosité et sa diminution. Si l'on arrête le mouvement et laisse la matière au repos et si l'on mesure à nouveau au bout d'un temps t la viscosité on constate ou bien qu'elle reste fixe ou bien qu'elle tend à reprendre la valeur initiale; c'est un cas d'instabilité de la viscosité qui peut être une *thixotropie* lorsque le mouvement augmente la fluidité, ou une *anti-thixotropie* lorsqu'il la diminue. Le même phénomène peut avoir lieu pour les pseudo-liquides binghamiens en ce qui concerne le frottement. C'est pourquoi nous avons, sur la figure 15, rapporté les propriétés en fonction de la réaction sous vitesse constante, ou de l'hystérésis S .

Il est à remarquer que l'on retrouve des propriétés de ce genre dans le cas des matières structurales à propos de la plasticité et de la rupture.

La thixotropie peut être partielle ou totale suivant que la matière a repris partiellement ou totalement ses

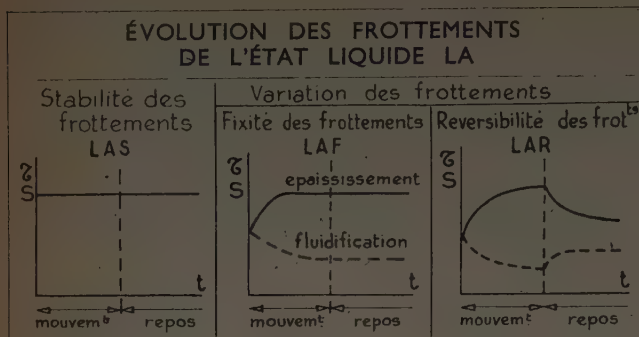


Fig. 15.

propriétés initiales. Lorsque la réversibilité succède à un épaississement, nous avons affaire à une antithixotropie qui peut également être partielle ou totale. Lorsque l'évolution thixotropique est très rapide dans un sens comme dans l'autre, la propriété prend le nom de *faux-corps* (*false body*). Ceci est fréquent dans les peintures (fig. 16).

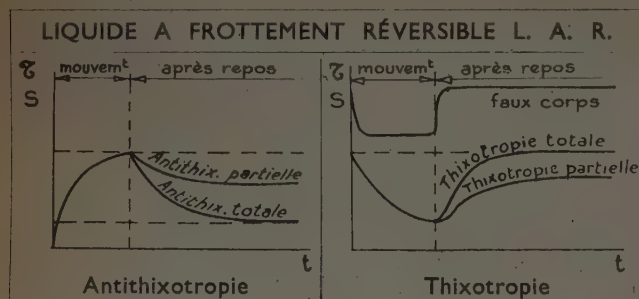


Fig. 16.

Nous arrêterons ici cette étude de l'état liquide placée ici pour la commodité de l'exposé et nous reviendrons à l'état structural que nous avons défini comme plastique, c'est-à-dire l'état le plus fréquent dans la matière solide.

Revenons donc au cas de la figure 6 SP. Nous voyons que la boucle d'hystérésis ne se referme pas au premier cycle (fig. 17). Au second cycle, elle se déplace tandis que la hauteur de la branche ascendante τ varie.

Si l'on applique de nouveaux cycles de déformation, la boucle tend vers un état pratiquement stable avec $A^n A^{n+1}$ tendant vers zéro et la position devenant fixe.

Sous une charge maintenue constante, le solide plastique subit un écoulement qui peut

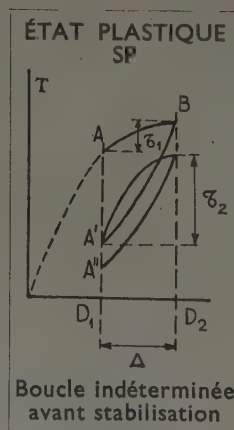


Fig. 17.

être limité et tendre vers un état stable, ou bien illimité et tendre vers la rupture.

Sous un allongement maintenu constant, le solide plastique subit une relaxation qui est toujours partielle, par opposition à l'état liquide.

Enfin, après un chargement et un déchargement, le corps plastique, et, c'est là sa principale caractéristique, garde une déformation résiduelle constante : la déformation plastique. La réactivité partielle que l'on observe souvent est due à la viscosité de la partie du corps déformée plastiquement et sur laquelle agit le squelette élastique (fig. 18).

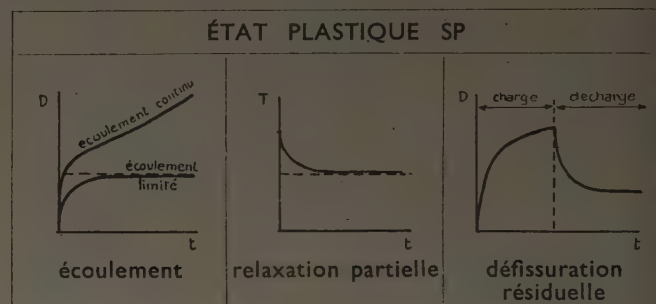


Fig. 18.

Examinons maintenant l'influence de la répétition des cycles sur les propriétés. La caractéristique intéressante à mesurer est la déformation résiduelle d ou plutôt le rapport d/D . Remarquons d'ailleurs que la surface de la boucle que l'on peut définir par $ABA'A$ (fig. 17) croît en même temps que ce rapport et en même temps que 2τ amplitude de la réaction. Nous trouvons là des types d'évolution analogues à ceux que nous avons observés pour les liquides.

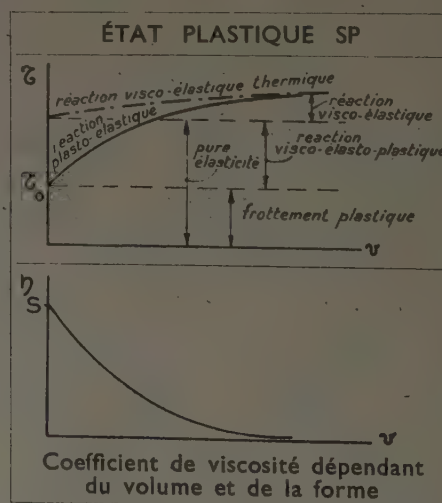


Fig. 19.

Examinons maintenant la variation de la réaction τ au cours du premier cycle de déformation en fonction

de la vitesse $v = \frac{dD}{dt}$. Nous obtenons une courbe qui part d'une valeur τ_0 pour $v = 0$ et qui est asymptote à une droite représentant les réactions purement élastiques (fig. 19).

On ne peut parler du coefficient de viscosité d'une matière structurale que si l'on fixe la forme et la dimension géométrique du corps car, rappelons-le une fois de plus, il s'agit d'un phénomène discontinu. Mais, de toute façon, le coefficient $\eta = \frac{d\tau}{dv}$ doit tendre vers zéro pour les grandes valeurs de v .

Sous l'influence des cycles répétés, on peut observer une évolution des réactions. Si elles augmentent et tendent vers la valeur élastique; il y a *écrouissage*, élasticification, durcissement ou raffermissement de la matière. Elle tend vers un état élastique entre les limites du cycle. L'écrouissage peut être rapide pour certains corps (acier) et lent pour d'autres (ciments) (fig. 21). Si les réactions diminuent, il y a *plastification* de la matière qui, le long de certaines surfaces de glissement, prend des propriétés semblables à celles de l'état liquide. La boucle d'hystérésis tend à devenir symétrique (fig. 20).

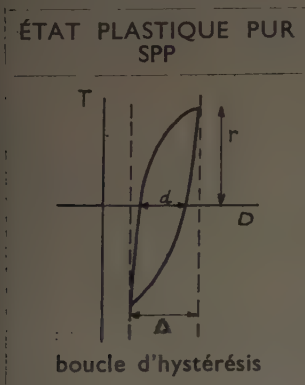


Fig. 20.

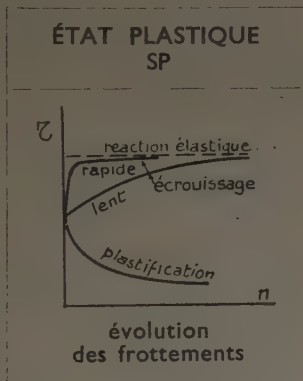


Fig. 21.

Mais sa largeur d pour $T = 0$ reste inférieure à l'amplitude Δ du cycle du fait de la présence de la structure élastique. De toute façon, un tel état conduit généralement à la rupture par une diminution progressive ou brutale de la réaction.

De même que pour l'état liquide, on peut observer une fixité ou une réversibilité des frottements qui prennent le nom de thixotropie ou antithixotropie plastique (fig. 22).

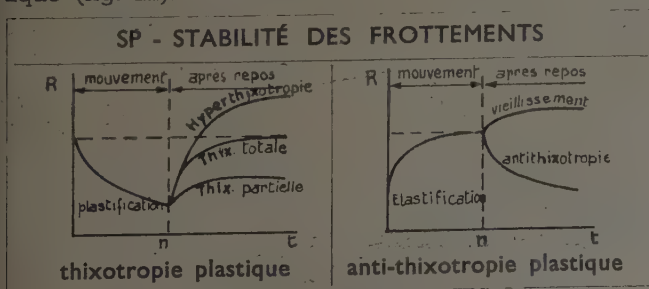


Fig. 22.

On peut encore constater, comme sur les aciers, une continuation de l'élasticification qui est due à un phénomène physico-chimique appelé le vieillissement.

La distinction que nous avons faite entre les principales propriétés des solides ont conduit à définir un certain nombre de familles, de genres et d'espèces comme dans une classification biologique. Mais il est toujours difficile de faire tenir des propriétés variables dans une classification rigide. Les frontières entre les genres sont souvent indistinctes et les transitions sont possibles. Si l'état élastique et l'état liquide sont bien tranchés, il n'en est pas de même entre l'état plastique et l'état élastique et entre l'état liquide et l'état plastique. Donc, dire que la distinction repose sur une relaxation totale ou partielle signifie que l'on doit pouvoir mesurer cette relaxation d'une façon parfaite et que l'expérience puisse durer très longtemps. En outre, les propriétés peuvent varier avec la position du cycle dans le diagramme de déformation. On sait qu'une matière élastique, jusqu'à une certaine limite appelée limite d'élasticité, devient plastique pour une charge ou une déformation supérieures, qu'elle peut présenter un aspect quasi-liquide au moment de la rupture. En outre, le coefficient de viscosité n'est pas indépendant de la contrainte mais, pour de nombreux corps, varie avec celle-ci, en diminuant lorsque T augmente. Il en résulte qu'un liquide ou pseudo-liquide présente une courbe de déformation $T(D)$ différente suivant la vitesse de cisaillement (fig. 23).

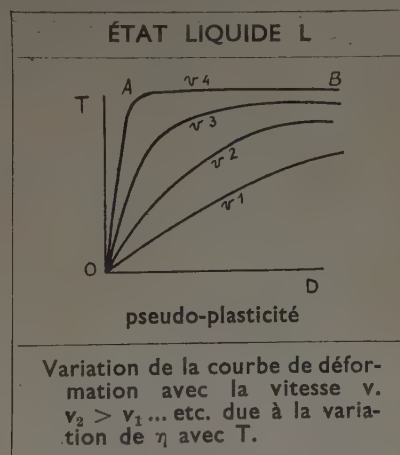


Fig. 23.

L'analyse du phénomène montre qu'une grande viscosité ou qu'une vitesse élevée peuvent faire apparaître une courbe présentant toutes les caractéristiques d'un solide plastique avec une partie élastique OA, une partie plastique AB et un coude A ayant l'apparence d'une limite d'écoulement. La plupart des matériaux visqueux que l'on a l'habitude de considérer comme des liquides ne montrent pas, au début de la déformation, dans l'essai de fluage, un écoulement constant. Ceci semble indiquer qu'il existe pour eux une première période de déformation dans laquelle certaines liaisons moléculaires réagissent élastiquement. Il est, en tout cas, fort difficile de distinguer les liquides très vis-

ceux des structures plastiques lorsque les vitesses de déformation ne sont pas négligeables, d'autant plus que, pour les premiers, il est possible d'obtenir une véritable rupture par fragmentation lorsque la vitesse est assez grande pour que la réaction de viscosité devienne supérieure à la cohésion. Les solides possèdent eux aussi une viscosité comme nous l'avons montré, élastique et volumétrique d'une part, plastique et localisée d'autre part. Cette viscosité est également variable avec la tension, de sorte que le diagramme de déformation varie avec la vitesse. Il en est de même pour la charge de rupture lorsque celle-ci a lieu par plasticité. Si l'on applique au coefficient de viscosité plastique une formule de variation analogue à celle des liquides, on constate en premier lieu que la limite d'élasticité tend à rejoindre la limite de rupture et que celle-ci croît avec la vitesse suivant une loi logarithmique. Ici encore, lorsque la réaction de viscosité dépasse la cohésion, on obtient une rupture par fragmentation. La vitesse correspondante est appelée vitesse de transition. C'est pourquoi de nombreux corps, fragiles aux vitesses élevées, deviennent également fragiles aux basses températures.

Les propriétés de la matière sont donc complexes et l'ingénieur qui doit, à l'aide de ces propriétés, effectuer un calcul, se trouve dans l'obligation de les représenter par des expressions mathématiques aussi simples que possible. L'état élastique qui est celui que l'on considère le plus souvent dans le calcul suppose la proportionnalité des efforts et des déformations et l'indépendance de la vitesse, c'est l'état hookéen.

L'état liquide à viscosité constante est l'état newtonien, C'est celui que l'on considère dans les calculs de mécanique des fluides.

Pour simplifier les propriétés de l'état plastique, on a également imaginé un corps plastique théorique dit venantien (de Saint-Venant). Il est parfaitement élastique hookéen jusqu'à une limite d'élasticité E . Lorsqu'il atteint cette limite, il se déforme indéfiniment sous contrainte constante (fig. 24).

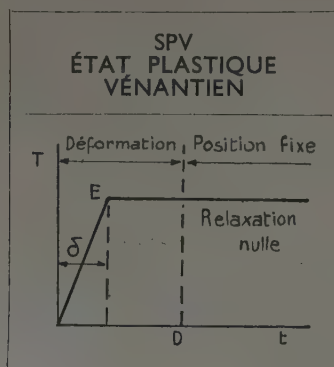


Fig. 24.

Sous allongement fixe, sa relaxation est nulle. Il ne possède pas de viscosité ni de frottement. Après chargement, la déformation résiduelle est égale à la déformation totale moins la déformation élastique (fig. 25).

C'est ce schéma extrêmement simplifié qui a servi de base à la théorie classique de l'élasticité dont la

validité s'étend approximativement aux corps tels que l'acier doux dont les propriétés d'écoulement à la limite élastique se rapprochent des précédentes pour une certaine grandeur des déformations.

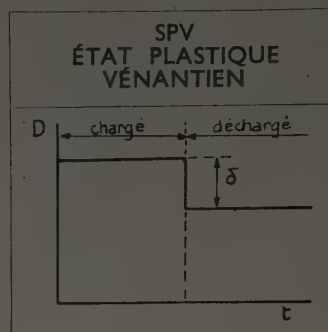


Fig. 25.

Jusqu'à présent, nous avons supposé que la matière était déformée sous l'influence d'une seule contrainte de cisaillement T . Si l'on fait, en plus, agir une pression normale au plan de glissement, celle-ci a pour effet de modifier le comportement de la matière d'une façon sensible. Un liquide, par exemple, voit sa viscosité augmenter. Mais, le cas le plus intéressant est celui des matières pulvérulentes telles, par exemple, que le sable et les suspensions ou mélanges de ces matières dans un liquide.

Sous pression nulle, une matière pulvérulente ne possède pas de résistance au cisaillement; elle glisse sur elle-même comme un liquide. Sous une pression P qui peut être simplement due à son poids propre ou à la capillarité du liquide qu'elle contient, elle possède un diagramme de déformation muni d'un maximum B et d'une phase d'écoulement BQ conforme à la figure 5. La chute de réaction est due à une orientation des grains vers une direction relative de frottement minimum. Si l'on mesure la réaction maximum $T = R$ que nous appellerons *rigidité* et que l'on étudie sa variation en fonction de la pression P , on obtient une courbe qui passe par l'origine $P = 0$. Pour un milieu pulvérulent théorique incompressible, cette courbe est une droite appelée droite de Coulomb; l'angle α qu'elle fait avec l'axe OP est l'angle d'équilibre, et le coefficient angulaire $\tan \alpha$ est appelé le coefficient de frottement externe ou coefficient de Coulomb. Nous avons affaire à l'état coulombien (fig. 26) pour lequel la rigidité R est :

$$R = KP.$$

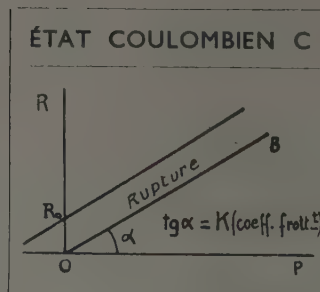


Fig. 26.

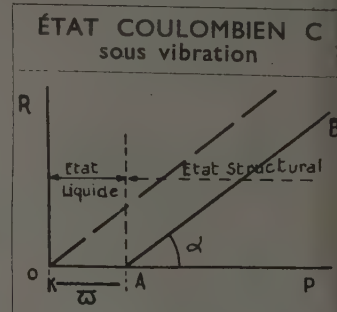


Fig. 27.

Si, pour une pression extérieure nulle, il existe déjà une cohésion π , la droite de Coulomb ne passe plus par l'origine et l'on a $R = R_0 + KP$ avec $R_0 = K\pi$.

Dans le cas d'un milieu pulvérulent soumis à l'action de la vibration, on peut avoir une cohésion négative ou pression d'expansion due à la répulsion des grains sous l'action des chocs et, jusqu'à la valeur π de cette pression, la matière réagit comme un liquide (béton vibré) (fig. 27).

Pour les solides plastiques du type venantien, au contraire (acier doux), la rigidité R est indépendante de la pression P , et la droite de rupture est parallèle à l'axe OP (fig. 28).

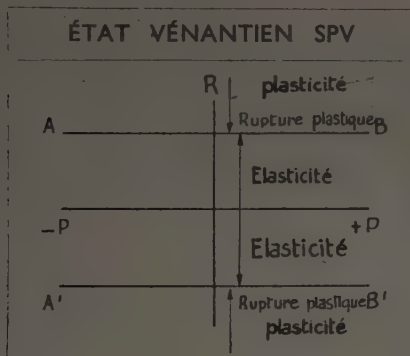


Fig. 28.

Entre les parallèles AB et $A'B'$ le solide est élastique; en dehors, il prend les propriétés plastiques venantiennes définies plus haut.

Mais, ces deux cas théoriques construits artificiellement pour schématiser les propriétés de certaines matières qui s'en rapprochent ne sont pas universels. Les matières pulvérulentes et surtout les suspensions telles que l'argile, par exemple, ont une structure qui est modifiée par la pression, et les propriétés de rigidité s'en ressentent notablement. Supposons un échantillon d'argile saturé d'eau que nous avons placé sous charge pendant une longue durée jusqu'à l'équilibre des tassements, et, soit P_i cette pression de stabilisation. Nous trouvons alors que la courbe $T(P)$ qui définit sa rigidité est composée d'une droite inclinée AB jusqu'à P_i et correspond à un état coulombien avec cohésion. Au delà de P_i , on observe une légère chute BC de la rigidité provoquée par un effondrement de structure, puis une droite horizontale CD propre à l'équilibre venantien. Mais, si nous avions, pour chaque valeur de P , établi une stabilisation préalable des tassements sous cette pression, nous aurions observé une droite coulombienne BF différente des courbes précédentes et qui passe beaucoup plus près de l'origine. Cette dernière droite qui représente bien la limite d'équilibre de cette matière peut ne pas correspondre aux cas de la pratique (dans la mécanique du sol en particulier) où l'effet de cisaillement est appliqué avant que la pression ait produit la déformation plastique totale préalable (fig. 29).

Considérons maintenant les corps solides d'une manière plus générale et examinons quelles sont les

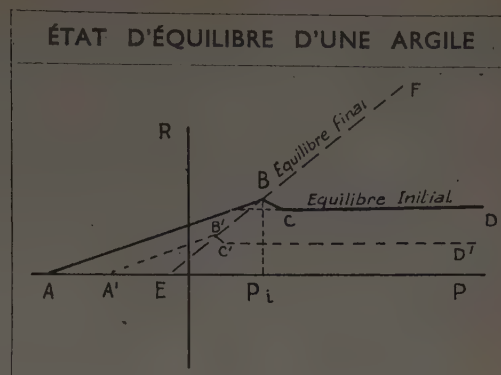


Fig. 29.

conditions de rigidité qui déterminent le passage de l'état élastique à l'état plastique. La courbe $R(P)$ a pris le nom de *courbe intrinsèque d'équilibre*; elle est droite et généralement croissante pour les valeurs de P positives (compressions), sauf s'il y a modification de structure, et fermée du côté des tractions (fig. 30).

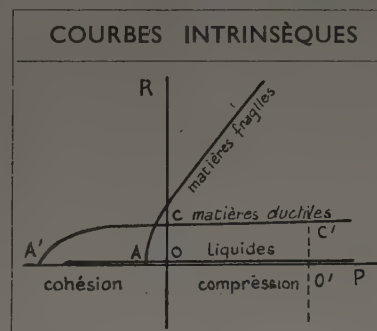


Fig. 30.

Pour les matières ductiles, à phase plastique importante et à ruptures par plasticité, elle est peu ouverte et se rapproche du type venantien. Pour les matières fragiles à phase plastique faible, à faible cohésion, elle est largement ouverte et se rapproche du type coulombien.

Dans ce qui précède, nous nous sommes occupés uniquement de la pression normale P au plan de cisaillement. Il peut exister également une pression transversale P' parallèle à ce plan. La combinaison avec P provoque un cisaillement T' le long d'un plan normal à T et l'on constate que celui-ci peut intervenir dans la détermination de la courbe intrinsèque. De nombreuses théories ont été faites à ce sujet et des recherches expérimentales ne sont pas encore parvenues à trancher cette question. De toute façon, si T' est plus petit que T , l'influence ne peut être que faible ou négligeable, et d'autant plus faible, semble-t-il, que la courbe intrinsèque se rapproche plus du type venantien.

L'abscisse π suivant laquelle la courbe intrinsèque coupe l'axe $R = 0$ est la cohésion; c'est la résistance sous une triple traction uniforme ou résistance à l'éclatement, opération impossible à réaliser pratiquement

d'ailleurs. Mais, un-tel mode de rupture étant purement élastique, la valeur de π que l'on peut extrapoler renseigne sur la grandeur de l'attraction moléculaire directe.

Quand OA est beaucoup plus grand que OC , le corps est ductile. Il peut se déformer d'une façon très importante sans se rompre en raison de la grande force d'attraction π . Quand OA est infini par rapport à OC , le corps est infiniment ductile; c'est le cas des liquides pour lesquels OC est nul tandis que OA a une valeur finie. Quand OA est petit par rapport à OC , le corps est fragile. Mais, il est toujours possible de transformer artificiellement les propriétés d'un corps en le plaçant sous une pression hydrostatique qui déplace l'origine O en O' . Le rapport $\frac{O'C'}{O'A'}$ augmente et la matière devient ductile par accroissement artificiel de la cohésion. Ces considérations expliquent les possibilités du tréfilage, de l'emboutissage et de l'estampage et sont essentielles pour la compréhension des modifications géologiques de l'écorce terrestre.

La rigidité, qui a servi de base à l'établissement des courbes intrinsèques, peut être et est en réalité une convention qui varie habituellement avec la matière considérée. Pour les corps solides tels que les métaux, on prend comme critère de rigidité la limite élastique qui correspond à la limite d'utilisation pratique de la matière. C'est évidemment une convention commode lorsque cette limite est physiquement définie. Pour les semi-solides tels que les corps pulvérulents, les suspensions, les colloïdes et les argiles, la valeur d'une limite d'élasticité est extrêmement difficile à établir expérimentalement; on considère alors la rupture, charge sous laquelle la déformation se poursuit indéfiniment ou à partir de laquelle la réaction au glissement décroît: c'est le point B de la figure 5. On conçoit alors que la courbe intrinsèque d'une argile ou d'un sable n'ait pas la même signification physique que celle

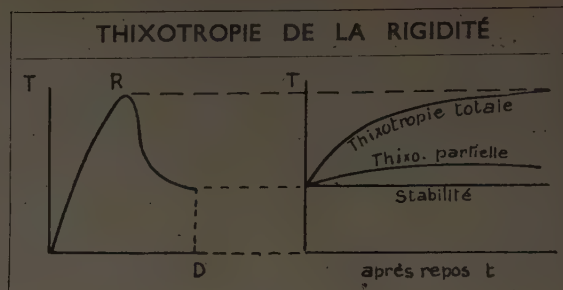


Fig. 31.

d'un métal, mais elles représentent toutes les deux les limites d'un domaine d'application.

Enfin, une rigidité peut être stable ou instable, au sens que nous avons donné à la stabilité des frottements d'une matière plastique (fig. 22). En d'autres termes, la rupture de rigidité ayant été obtenue, le repos sous déformation constante conduit-il, pour une nouvelle expérience, faite après un temps t , à une rigidité inférieure ou égale à la précédente?

En ce qui concerne l'apparition de la limite élastique, il peut y avoir plastification (écrouissage), élastification ou vieillissement suivant la figure 22.

En ce qui concerne la véritable rupture de rigidité, par passage au maximum, on observe souvent, dans les colloïdes par exemple, une thixotropie caractérisée par un retour aux conditions initiales, par un rétablissement total ou partiel de la structure (fig. 31).

C'est ce phénomène qui explique qu'en agitant un gel de bentonite et d'eau il se liquéfie et, qu'après une période de repos, il se transforme de telle façon qu'on puisse incliner le récipient qui le contient sans faire couler le mélange. Cette opération peut d'ailleurs être répétée autant de fois qu'on le désire.

II. — LA MESURE DES PROPRIÉTÉS DE LA MATIÈRE

Il reste maintenant à expliquer comment mesurer les caractéristiques des matériaux que nous avons pris comme base de notre classification. C'est à dessein que nous avons employé la notion de cisaillement en parlant des efforts de déformation, car c'est la seule qui soit universelle et qui permette de passer du solide au liquide sans changer de convention. La traction ou la compression, qui sont généralement utilisées pour essayer les matières solides, ne sont pas des opérations faciles à effectuer sur des corps tels que des gels et encore moins sur des liquides.

Or, pour un solide, il est toujours facile de passer de l'essai de traction ou de compression à la mesure des glissements et des cisaillements, car ceux-ci se produisent suivant des plans bien orientés et que l'on peut définir par avance. Sur un solide, on peut encore employer l'essai de torsion sur une barre ou sur un tube pour connaître les réactions de cisaillement, le module G et les frottements internes. On peut employer les méthodes vibratoires pour étudier l'élasticité; on peut maintenir la pièce sous longueur constante pour mesurer la relaxation ou sous charge constante pour mesurer l'écoulement et l'on peut traduire toutes ces mesures dans un système de coordonnées faisant intervenir le glissement.

Lorsqu'il s'agit d'un pseudo-solide ou d'un liquide, tout cela est impossible et seul l'essai de cisaillement est praticable. Mais il est difficile d'effectuer un cisaillement pur suivant des plans parallèles. L'essai que l'on effectue pour les argiles dans les boîtes à cisaillement de Casagrande n'est valable que pour les faibles déformations et pour des corps assez peu fluides.

Dans le cas de matières pulvérulentes, nous avons employé le procédé qui consiste à cisailer une boîte en forme de couronne suivant un plan diamétral. Nous avons également opéré par torsion d'une galette de matière placée entre deux plaques que l'on fait tourner l'une par rapport à l'autre. Ce procédé permet de mesurer la variation de rigidité et de viscosité en fonction de la pression. Mais, le procédé le plus commode que nous utilisons pour les matières pâteuses est dérivé du viscosimètre de Couette (fig. 32).

Suivant l'axe d'un récipient cylindrique rempli de la matière à examiner est descendu un cylindre cannelé terminé par une pointe. Ce cylindre est solidaire d'un dynamomètre de torsion qui, en s'opposant à sa rotation, mesure la réaction correspondante. On fait alors

tourner le récipient autour de son axe correspondant à celui du cylindre. Il entraîne la matière et sa déformation est mesurée par une aiguille fixée sur l'axe du cylindre tandis que la réaction est mesurée par un dynamomètre.

Si l'on a affaire à un liquide, la réaction est constante pour une vitesse déterminée; on en tire la viscosité.

Si l'on a affaire à une matière structurale, le dynamomètre accuse un accroissement de cisaillement puis un maximum et une diminution. Le maximum correspond à la rupture dans un anneau entourant immédiatement le cylindre. Cette rupture peut être aisément observée grâce à la discontinuité de déformation que l'on aperçoit en surface. Il suffit d'ailleurs de placer un petit flotteur sur la surface pour voir que son mouvement par rapport à l'aiguille est brutalement modifié au moment de la rupture.

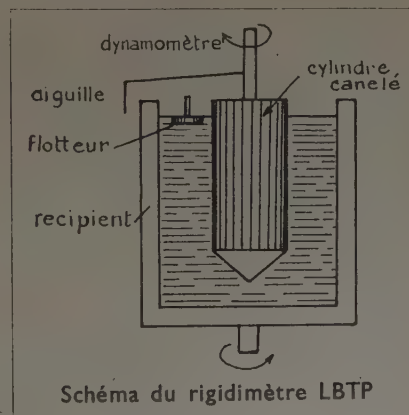


Fig. 32.

Il existe encore de nombreux procédés de mesure de la rigidité des pâtes, mais nous avons jugé intéressant de citer celui-ci qui, jusqu'à présent, nous a donné satisfaction. Nous ne manquerons pas, cependant, de dire une fois de plus que la viscosité de ce genre de matière est un phénomène différent de celui relatif aux liquides de par sa dimension et sa discontinuité. La similitude des appareils utilisés a conduit et risque de conduire encore à des erreurs d'interprétation.

III. — LA MATIÈRE ET LA CONSTRUCTION

D'après ce qui précède, on voit donc que le constructeur qui doit choisir entre les matières qu'il peut utiliser a la possibilité de faire son choix en connaissance de cause. Il limitera les taux de déformation et de travail de la matière solide aux limites de son élasticité et, si l'ouvrage est soumis aux efforts répétés, il s'assurera de la stabilisation des frottements internes pour se garder de la rupture par fatigue. Pour les matières semi-solides telles que les bitumes, les mortiers, les pâtes telles que le béton frais, il saura déterminer leur rigidité et il en déduira les procédés propres à leur mise en œuvre. Il saura que certaines de ces matières peuvent présenter une pseudo-élasticité instantanée tandis qu'elles s'écoulent sous charge constante.

Il saura encore que toute plasticité n'est pas un indice de faiblesse car le mécanisme de l'écroutissage veut que l'élasticité soit obtenue par l'application de cycles répétés déterminant une élastification ou accommodation. Si cette élastification est stable, elle correspond à une modification de la structure qui peut améliorer la résistance au régime qui l'a provoquée, aux dépens de la résistance aux autres régimes. Une accommodation en traction répétée provoque en effet le plus souvent une chute de résistance en compression.

Il y a même lieu de penser qu'une matière vierge ne peut être élastique à la première application d'efforts et qu'elle ne peut le devenir que par écroutissage.

La tendance vers le travail minimum pour produire un déplacement considéré que représente l'accommodation est une loi générale que l'on rencontre souvent dans la nature. Si cette loi est vérifiée dans le cas de la matière, celle-ci tend vers un état d'équilibre; dans le cas contraire, elle ne peut rester en équilibre et va vers la rupture. C'est la rupture par fatigue ou l'écoulement.

L'accommodation n'est pas seulement un phénomène intime, à l'échelle de la structure moléculaire. Il existe à l'échelle même de la construction. La plasticité provoque une modification de forme déterminant un état de contrainte à partir duquel le travail dépensé tend vers un minimum. Ce phénomène résultant de l'accommodation a pris le nom d'adaptation. Il en résulte pour la matière de construction la nécessité de posséder une phase plastique capable de déformations dépassant celles de l'élasticité. C'est ce que le constructeur fait d'instinct lorsqu'il choisit de préférence les matériaux les moins fragiles et à cohésion élevée.

Mais, l'adaptation, distribution spontanée des contraintes favorables à la stabilité interne, rencontre quelquefois l'écueil de l'instabilité externe. Certaines parties de l'ouvrage peuvent prendre, du fait de la modification de forme et de la réaction d'autres éléments, des

fatigues telles que toute augmentation de la déformation conduise à une nouvelle augmentation du taux de travail. C'est un cas d'instabilité fréquent dont le plus bel exemple est le flambage.

Quand, pour un déplacement quelconque imposé au système chargé, son énergie potentielle croît, il reste en équilibre. Au contraire, quand elle décroît, l'équilibre est rompu.

Les plus beaux exemples d'utilisation appropriée des matériaux de construction se trouvent dans la constitution des êtres vivants.

Les matières fibreuses associées aux liquides visqueux donnent à l'élasticité les propriétés d'hystérésis qui permettent l'amortissement dans les tissus musculaires. L'orientation des cellules ligneuses du bois donne à celui-ci une plus grande résistance dans la direction des plus grandes sollicitations. La forme tubulaire d'une tige de blé est justement celle qui présente la meilleure résistance au flambement alliée à la plus grande légèreté; les cloisons transversales ou nœuds réparties sur la hauteur évitent son aplatissement. Mais, ainsi que le faisait remarquer M. Caquot, « les formes des êtres vivants sont limitées par les possibilités correspondantes ». Ils ne peuvent pas, dans le champ de la gravitation, dépasser une certaine masse que leur squelette ne pourrait supporter. Si l'on considère un mammifère doué de pattes, par exemple, on voit, en augmentant son échelle et en le laissant semblable à lui-même, que le taux de travail du squelette augmente avec l'échelle tandis que le risque d'instabilité augmente avec le carré de l'échelle. Le mammoth paraît déjà être un prodige de construction suivi de près par l'éléphant. Les grands animaux du tertiaire ne pouvaient vivre que dans l'eau, aidés par la poussée d'Archimède, ou reposer sur le sol sur toute leur longueur comme les reptiles. Les grands arbres ont leurs dimensions limitées par leur résistance à la flexion et ils sont condamnés à plier s'ils dépassent les limites permises par l'action de la flexion due au vent et au flambage.

La nature vivante que nous pouvons observer est le fruit d'une longue suite d'expériences et d'adaptations. Nous pouvons y puiser de grandes leçons d'ingéniosité dans l'art d'utiliser la matière. Et sans la connaissance approfondie de la matière, la science de la construction n'est qu'un vain mot. Tout progrès dans cette connaissance crée des possibilités nouvelles qui, en définitive, permettra d'améliorer les conditions de vie de l'homme. Mais, la nature n'est pas faite à l'échelle de l'esprit humain; il ne peut prétendre à la reconstruire par le raisonnement; il doit l'observer, animée ou inanimée, et chercher à la comprendre. Elle seule peut nous apprendre quelque chose de nouveau.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA MATIÈRE

T. Effort en cisaillement pur;
D. Déformation;
d. Déformation résiduelle.

S. Hystérésis (énergie dépensée au cours d'un cycle);
t. Temps. R. rigidité.

P. Pression normale au plan de cisaillement;
v Vitesse de déformation $\frac{dD}{dt}$

γ Nombre de répétitions $\pm \Delta$;
 Δ Amplitude d'un cycle;
 τ Réaction pour Δ .

1 Relaxation (D. constant)	S. Etat Structural Solides ou pseudo-Solides 	L. Etat non Structural Liquides ou pseudo-liquides
2 Boucle $\pm \Delta$ v constant	SE Etat Elastique 	SP Etat plastique
3 Boucle $\pm \Delta$ v constant	SEE Purement élastique 	L.A. Non Newtonnien L.N. Viscosité pure
4 Frottements $\pm \Delta$ constant S en fonction de v	SE.H Hystéro-Elastique 	L.A.V. Viscosité variable
5 Module $G = \frac{dT}{dD}$, $\eta = \frac{dT}{dv}$	S.P.E. Elasto-plastique 	L.A.B. Pseudo-Liquide
6 Ecoulement T constant	SE.S Hystérésis nul 	L.N. Newtonnien
7 Relaxation D constant	SE.S Hystérésis nul 	L.A.V. Viscosité variable
8 Déformation Résiduelle après Chargement T = 0 T constant	SE.S Hystérésis nul 	L.A.B. Pseudo-Liquide
9 Frottements	SE & SP Evolution des Frottements 	L.A.S. Stabilité des frottements
10 Thixotropie. Réversibilité des frottements	S.T. Thixotropie 	L.A.F. Finis des frottements acquis
	Ruptures Etat Structural S. 	L.A.R. Réversibilité des frottements
	Etat non structural L. 	L.A.R. Frottements réversibles
	Limites de rigidité, courbes intrinsèques 	

N° 12.059

ARRAULT et C^{ie}, Tours (France)

Dépôt légal : 3^e trimestre 1949

Le Directeur-Gérant : M. GUÉRIN

(Reproduction interdite)

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII^e

AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR

Nouvelle série.

